



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 100 55 711 A 1

51 Int. Cl. 7:
H 01 L 27/108
H 01 L 21/8242

06

21 Aktenzeichen: 100 55 711.2
22 Anmeldetag: 10. 11. 2000
43 Offenlegungstag: 23. 5. 2002 u.v.

DE 100 55 711 A 1

71 Anmelder:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

74 Vertreter:
Zimmermann & Partner, 80331 München

72 Erfinder:
Birner, Albert, 01129 Dresden, DE; Goldbach,
Matthias, 01099 Dresden, DE; Franosch, Martin,
81739 München, DE

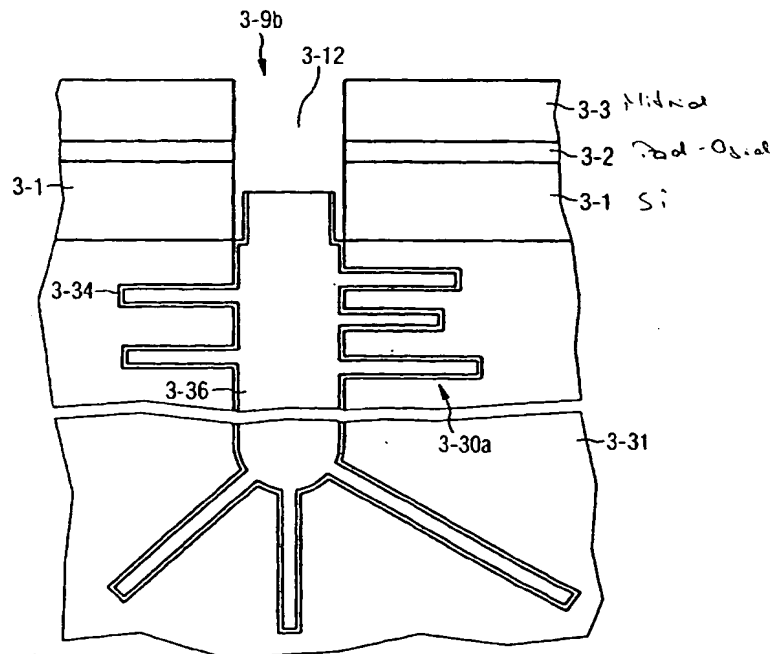
56 Entgegenhaltungen:
DE 197 00 982 A1
US 56 35 419
US 48 74 484

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Herstellung von Grabenkondensatoren

57 Es wird ein Verfahren zur Herstellung von Grabenkondensatoren beschrieben, die Gräben mit Mesoporen aufweisen. Diese Grabenkondensatoren eignen sich sowohl für diskrete Kondensatoren wie für integrierte Halbleiterspeicher. Die Mesoporen erhöhen die Oberfläche für Elektroden für die Grabenkondensatoren und damit die Kapazität der Grabenkondensatoren signifikant. Die Mesoporen, die kleine holzwurmlochähnliche Kanäle mit Durchmessern im Bereich von 2 bis 50 nm sind, werden erfindungsgemäß auf elektrochemischem Wege hergestellt. Dieses Verfahren ermöglicht die Erzeugung von Kapazitäten mit großem Kapazität-zu-Volumen-Verhältnis. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß das Wachstum der Mesoporen spätestens dann zum Stillstand kommt, wenn die Mesoporen einen minimalen Abstand zu einer anderen Mesopore oder benachbarten Graben erreichen (Selbstpassivierung). Auf diese Weise kann selbstreguliert die Bildung von "Kurzschlüssen" zwischen zwei benachbarten Mesoporen vermieden werden. Weiterhin wird ein Halbleiterbauelement mit mindestens einem Grabenkondensator auf der Vorderseite eines Halbleitersubstrats beschrieben, das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden kann.



BEST AVAILABLE COPY

DE 100 55 711 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Grabenkondensatoren für sowohl diskrete Kondensatoren als auch für integrierte Bauelemente und insbesondere für integrierte Halbleiterspeicher.

[0002] Die zunehmende Miniaturisierung von elektronischen Schaltungselementen führt zu der Forderung nach Kondensatoren mit größtmöglichem Kapazität-zu-Volumen-Verhältnis. Neben der Dickenreduzierung der Dielektrikumsschichten zwischen den beiden Kondensatorelektroden und der Erhöhung der Dielektrizitätskonstante durch die Wahl neuer Materialien führt insbesondere die Vergrößerung der Oberflächen der Kondensatorelektroden in einem vorgegebenen Volumen zu einem größeren Kapazität-zu-Volumen-Verhältnis.

[0003] Die Vergrößerung von Oberflächen bei vorgegebenem Volumen kann z. B. durch eine Aufrauung oder durch eine möglichst feine Strukturierung der Oberflächen eines Substrats, auf denen die Elektroden und die Dielektrikumsschichten aufgebracht werden, erreicht werden.

[0004] Eine inzwischen bewährte Technik für die Herstellung von Kondensatoren mit großem Kapazität-zu-Volumen-Verhältnis ist die Erzeugung von Kondensatoren in Gräben, die in dem Substrat erzeugt werden und die durch eine erste Elektrode, eine Dielektrikumsschicht und eine zweite Elektrode beschichtet werden. Diese Technik wird sowohl für die Herstellung von Kapazitäten in hochintegrierten Bauelementen, die eine Minimierung des Flächenbedarfs auf dem Substrat bei einer vorgegebene Mindestkapazität verlangen, als auch für die Herstellung von diskreten Kondensatoren, die eine Maximierung der Kapazität bei einem vorgegebenen Volumen verlangen, angewendet.

[0005] Eine Ausführung von diskreten Grabenkondensatoren ist in der deutschen Patentanmeldung Nr. 199 40 825.4-33 mit dem Titel "Kondensatorstruktur" beschrieben. Diese Kondensatorstruktur weist zur Erhöhung der Kapazität eine Vielzahl von Gräben in einem Siliziumsubstrat auf, die alle mit einer Elektrode, einer Dielektrikumsschicht und einer zweiten Elektrode beschichtet werden und so zusammen einen Kondensator bilden. Fig. 1 zeigt eine Ausführung eines solchen Grabenkondensators auf einem n-dotierten Siliziumsubstrat 1-1, das Gräben 1-2 mit einer Grabentiefe von etwa 100–250 µm und einer Grabenlochbreite von 0.5–3 µm aufweist. Das Siliziumsubstrat 1-1 dient gleichzeitig als erste Elektrode. In die Gräben 1-2 sind weiterhin eine Isolationsschicht 1-3, die als Dielektrikum dient, und eine zweite Elektrode 1-4 eingelassen. Die Kontaktschicht 1-6 dient der Kontaktierung der zweiten Elektrode 1-4. Die Kapazität des Kondensators setzt sich so im wesentlichen aus der Summe der in jedem Graben erzeugten Kapazität zusammen.

[0006] Im Unterschied dazu weisen die Grabenkondensatoren eines hochintegrierten Speicherbauelements gewöhnlich einen Graben pro Grabenkondensator auf. Zumindest eine der beiden Elektroden muß bei dieser Vorrichtung so strukturiert sein, daß die Elektroden von benachbarten Gräben keine elektrische Verbindung miteinander haben. Um die in einem Speicherkondensator einer Speicherzelle gespeicherte Ladung reproduzierbar auslesen zu können, sollte die Kapazität des Speicherkondensators mindestens einen Wert von etwa 30 fF besitzen. Gleichzeitig muß die laterale Ausdehnung des Kondensators so klein wie möglich sein.

[0007] Die Herstellung von Grabenkondensatoren für DRAM-Halbleiterspeicher nach Stand der Technik ist in den Fig. 2a) bis 2d) schematisch beschrieben. In einem ersten Schritt (Fig. 2a)) werden eine dünne Oxidschicht 2-2, die die Funktion eines Pad-Oxids hat, eine Nitridschicht 2-3 und

eine weitere Oxidschicht 2-4 auf eine p-dotierte Siliziumscheibe 2-1 aufgebracht. Auf die Oxidschicht 2-4 wird weiterhin eine Photoresistmaske 2-6 aufgebracht und photolithographisch so strukturiert, daß die Öffnungen der Photoresistmaske 2-6 die Position und Querschnitt der zu ätzenden Gräben wiedergeben. Typischerweise haben die Maskenöffnungen 2-13 dabei einen ovalen oder nahezu runden oder quadratischen Querschnitt, so daß sie in der Praxis, von oben gesehen, weitgehend als Löcher wahrgenommen werden. Fig. 2a) zeigt die Struktur, nachdem der Schichtstapel aus Pad-Oxid 2-2, Nitridschicht 2-3 und Oxidschicht 2-4 an der strukturierten Photoresistmaske 2-6 in einem anisotropen Ätzschritt, bevorzugt mit einem ersten Trockenätzgas 2-7, strukturiert worden ist. Damit ist eine Hartmaske hergestellt worden, mit deren Hilfe die Gräben in die p-dotierte Siliziumscheibe 2-1 geätzt werden können. Die Photoresistmaske 2-6 wird nach dieser Strukturierung entfernt.

[0008] Das Ätzen der Gräben 2-15 erfolgt im wesentlichen selektiv zur Oxidschicht 2-4 in einem anisotropen Trockenätzschritt, z. B. durch einen RIE-Ätzschritt mit einem zweiten Trockenätzgas 2-8 (Fig. 2b)). Danach wird die Oxidschicht 2-4 wieder entfernt.

[0009] In einem weiteren Schritt werden die Innenwände der Gräben 2-15 n-dotiert, damit sie isoliert von dem sie umgebenden p-dotierten Gebiet als erste Elektrode 2-10 ("buried plate") für die zu erzeugenden Kondensatoren dienen können. Die n-Dotierung der Grabeninnenwände geschieht z. B. durch die Abscheidung einer Arsensilikatglasschicht an den Innenwänden der Gräben 2-15. Ein anschließender Diffusionsschritt bewirkt, daß das Arsen des Arsensilikatglases in die Seitenwand eindringt und eine n-dotierte Schicht erzeugt, die die Gräben vollständig umgibt.

[0010] Die die Gräben umgebenden n-dotierten Schichten stellen die erste Elektrode 2-10 (n-buried Plate) für die Grabenkondensatoren dar. Die Arsensilikatglasschicht wird anschließend wieder beseitigt (Fig. 2c)).

[0011] Es folgen nun eine n-Implantation zum Kurzschließen benachbarter erster Elektroden 2-10 (nicht gezeigt in Fig. 2d)), die Abscheidung eines Dielektrikums 2-11, z. B. eine Oxid-Nitrid-Oxid (ONO)-Schicht, auf der ersten Elektrode 2-10 und die Abscheidung einer n-dotierten Polysiliziumsschicht, die als zweite Elektrode 2-12 dient. Durch einen anschließenden Chemisch-Mechanischen (CMP) Polierschritt bleiben das Dielektrikum 2-11 und die Polysiliziumsschicht, die die zweite Elektrode 2-12 darstellt, nur in den Gräben zurück (Fig. 2d)). Damit ist die Herstellung der Grabenkondensatoren weitgehend abgeschlossen.

[0012] Grabenkondensatoren für DRAMs werden derzeit routinemäßig mit einem Grabendurchmesser an der Substratoberfläche von etwa 300 nm und einer Tiefe von bis zu 10 µm hergestellt, um eine ausreichende Grabenwandoberfläche für die Elektroden bereitstellen zu können. Die Herstellung von Gräben mit einem so hohen Tiefen-Querschnitt-Aspektverhältnis stellt jedoch hohe Anforderungen an den Ätzschritt und ist dementsprechend langwierig und teuer. Ein weiteres Verkleinern der Grabendurchmesser bei größer werdender Grabentiefe zur Vergrößerung der Grabenwandfläche wird immer schwieriger.

[0013] Eine weitere Erhöhung der Kapazität-zu-Volumen-Verhältnisse von diskreten oder integrierten Grabenkondensatoren durch eine Verdichtung oder Vertiefung von Gräben stößt schnell an technologische oder kostenmäßige Grenzen. Als alternatives Verfahren zur Erhöhung der Grabenwandoberfläche sind oberflächenvergrößernde Verfahren wie die Aufrauung der Grabenwandoberfläche (siehe z. B. die Patentschriften US 5,981,350 oder US 6,025,225) oder die Erweiterung des Grabenquerschnitts in größerer Grabentiefe entwickelt worden (flaschenförmige Gräben). Bei beiden

Verfahren muß jedoch darauf geachtet werden, daß die Erweiterung der Gräben nicht zu weit durchgeführt wird, damit die Zwischenwände zwischen benachbarten Gräben nicht zerstört werden, da dies die Oberflächen wieder reduzieren würde. Bei Halbleiterspeichern würde eine Zerstörung der Zwischenwände sogar zu Kurzschlüssen zwischen benachbarten Grabenkondensatoren führen. In diesem Fall muß daher ein Sicherheitsabstand zwischen den Gräben eingehalten werden, der einer größtmöglichen Erweiterung der Grabenquerschnitte entgegensteht. Die Erhöhung der Grabenwandoberfläche ist mit diesen Methoden daher begrenzt.

[0014] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, daß die besprochenen Schwierigkeiten nicht aufweist und die Grabenwandoberfläche signifikant auf kostengünstige Weise erhöht, ohne daß die Gefahr einer Zerstörung der Zwischenwände zwischen benachbarten Gräben auftritt. Für Halbleiterspeicher soll dabei insbesondere die Kurzschlußbildung zwischen benachbarten Grabenkondensatoren verhindert werden.

[0015] Diese Aufgabe wird von dem Verfahren zur Herstellung von Grabenkondensatoren nach Anspruch 1 und durch ein Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen, Ausgestaltungen und Aspekte der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen, der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen.

[0016] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Herstellung von mindestens einem Grabenkondensator mit den folgenden Schritten bereitgestellt:

- ein Halbleitersubstrat mit einem oder einer Mehrzahl von Gräben auf der Vorderseite eines Halbleitersubstrats wird bereitgestellt, wobei der Graben an der Grabenwandoberfläche eine vorgegebene n-Dotierung aufweisen;
- ein flüssiger Elektrolyt wird auf die Vorderseite des Halbleitersubstrats aufgebracht;
- eine elektrische Spannung zwischen der Rückseite des Halbleitersubstrats und dem flüssigen Elektrolyt wird angelegt, so daß ein elektrischer Strom mit einer vorgegebenen Stromdichte fließt und Mesoporen in der Grabenwand erzeugt werden;
- eine erste Elektrode wird in dem Graben und den dazugehörigen Mesoporen erzeugt;
- ein Dielektrikum wird auf die erste Elektrode aufgebracht;
- eine zweite Elektrode wird auf das Dielektrikum aufgebracht.

[0017] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Halbleiterbauelement mit mindestens ein Grabenkondensator auf der Vorderseite eines Halbleitersubstrats bereitgestellt,

- wobei der Grabenkondensator mindestens einen Graben im Halbleitersubstrat mit Mesoporen in der Grabenwand aufweist;
- wobei die Grabenwand und die Wände der Mesoporen des Grabenkondensators eine erste Elektrode aufweist oder auf der Grabenwand und auf den Wänden der Mesoporen des Grabenkondensators eine erste Elektrode aufgebracht ist;
- wobei auf der ersten Elektrode des Grabenkondensators ein Dielektrikum aufgebracht ist.;
- wobei auf dem Dielektrikum des Grabenkondensators eine zweite Elektrode aufgebracht ist.

[0018] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Mesoporen in der Grabenwand erzeugt, die bei ausreichender Zahl, ausreichender Länge und ausreichendem Durchmesser die Gesamtoberfläche eines Grabens und damit die Gesamtoberfläche der Elektroden eines Grabenkondensators signifikant erhöhen.

[0019] Mesoporen sind elektrochemisch hergestellte Kanäle in einem Halbleitersubstrat mit einem definitionsgemäßen Porendurchmesser zwischen 2 nm und 50 nm. Die Mesoporen entstehen bevorzugt an n-dotierten Oberflächen des Halbleitersubstrats, die mit dem erfindungsgemäßen Elektrolyten unter einer geeigneten Elektrischen Spannung in Kontakt kommen. Insbesondere entstehen die Mesoporen bevorzugt an den n-dotierten Gebieten der Grabenwandoberflächen und wachsen als "holzwurmlochartige" Kanäle von der Grabenwandoberfläche in das n-dotierte Grabenwandinnere. Das Grabenwandinnere ist dabei das den Graben unmittelbar umgebende Material des Halbleitersubstrats.

[0020] Der oder die Gräben, an deren Grabenwandoberflächen die Mesoporen erzeugt werden, sind auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats erzeugt. Die Gräben dienen der Bereitstellung einer möglichst großen Oberfläche für die Unterbringung von Grabenkondensatoren mit möglichst großer Kapazität bei minimalem Flächenbedarf auf dem Halbleitersubstrat. Erfindungsgemäß weisen die Gräben gleichzeitig die Grabenwandoberflächen auf, an denen die Mesoporen erzeugt werden. Um die Mesoporenbildung zu ermöglichen, sind die Grabenwände der Gräben mit einer vorgegebenen n-Dotierung versehen.

[0021] Die Bildung der Mesoporen geschieht auf elektrochemischem Wege. Das erfindungsgemäße Verfahren benutzt elektrochemische Prozesse an der Grenzfläche zwischen dem flüssigen Elektrolyten und den n-dotierten Oberflächen des Halbleitersubstrats dazu, daß bei Anlegen einer äußeren elektrischen Spannung zwischen Rückseite des Halbleitersubstrats und dem flüssigen Elektrolyten Halbleitersubstratmaterial von n-dotierten Oberflächen an solchen Stellen geätzt wird, die durch eine topologiebedingte lokale Überhöhung des elektrischen Feldes ausgezeichnet sind.

[0022] Die Erfindung nutzt dabei die Selektivität des Ätzens, die sich bei der elektrochemischen Ätzung einstellt und die das Ätzen an den Mesoporenspitzen bevorzugt während andere Bereiche der Grenzfläche ungeätzt bleiben. Ohne auf diese Erklärung festgelegt sein zu wollen, sind die Erfinder der Ansicht, daß sich diese Selektivität aus dem elektrischen Feldverlauf und der Ausbildung von Raumladungszonen auf den unebenen Grenzflächen bei Anlegen der äußeren elektrischen Spannung ergibt. Die Unebenheiten der Grenzfläche zwischen flüssigem Elektrolyt und Halbleitersubstrat erzeugen Bereiche unterschiedlicher Feldstärke. Spitze Vertiefungen in der Grabenwand erzeugen z. B. ein starkes Feld, wodurch der Ätzvorgang beschleunigt wird. Da die Raumladungszonen gleichzeitig eine Passivierung an den Seiten der Vertiefungen bewirken, wachsen die Vertiefungen zu "holzwurmlochartig" verlaufenden Mesoporen. Typischerweise liegt der Durchmesser dieser Mesoporen im Bereich zwischen 2 nm und 20 nm, wobei der genaue Durchmesser durch n-Dotierungskonzentration und die Stromdichte eingestellt werden kann.

[0023] Die Passivierung an den Seiten der Mesoporen durch die Raumladungszonen bewirkt auch eine Begrenzung der Mesoporendichte, da der kleinste Abstand zwischen zwei Mesoporen in guter Näherung durch die Ausdehnung der beiden Raumladungszonen gegeben ist. Da die Ausdehnung der Raumladungszonen sowohl durch die n-Dotierungskonzentration der Grabenwände als auch durch das elektrische Feld bestimmt ist, kann die Dichte der Mesoporen

poren durch diese beiden Parameter eingestellt werden.

[0024] Die elektrische Spannung zwischen Rückseite des Halbleitersubstrats und dem flüssigen Elektrolyt dient der Erzeugung einer selektiven Ätzung an den Grabenwänden. Bevorzugt wird die elektrische Spannung an der Rückseite so angelegt, daß im Flächenbereich der zu ätzenden Mesoporen die Rückseite auf ein homogenes elektrisches Potential gelegt ist, d. h. die entsprechenden Rückseitenbereiche stehen bevorzugt niederohmig in Kontakt miteinander. Dadurch erhält man an der Rückseitenfläche eine homogene Stromdichteverteilung senkrecht zur Rückseitenfläche. Auf diese Weise "sehen" die Gräben in erster Ordnung die gleiche elektrische Feldverteilung, so daß die Mesoporen an den verschiedenen Gräben sich unter weitgehend gleichen Bedingungen bilden können.

[0025] Weiterhin wird eine erste Elektrode jeweils in einem Graben und den dazugehörigen Mesoporen erzeugt. Gemäß einer ersten Ausführungsform wird die erste Elektrode auf den Oberflächen von Graben und den dazugehörigen Mesoporen erzeugt. Bevorzugt wird die erste Elektrode dabei als eine leitende Schicht auf die Oberflächen von Graben und den dazugehörigen Mesoporen aufgebracht.

[0026] In einer anderen bevorzugten Ausführung ist die erste Elektrode durch n-dotierte Bereiche der Grabenwände gegeben. Dabei kann die n-Dotierung der ersten Elektrode durch die für die Mesoporenerzeugung benötigte n-Dotierung oder durch einen zusätzlichen n-Dotierungsschritt gegeben sein. Bevorzugt wird die n-Dotierung dabei bis in eine Tiefe durchgeführt, so daß eine niederohmige elektrische Verbindung zwischen den Grabenwandoberflächen benachbarter Gräben hergestellt wird. Auf diese Weise sind die ersten Elektroden der Grabenkondensatoren niederohmig miteinander verbunden und können auf ein gemeinsames Potential gelegt werden. Die n-Dotierung kann in diesem Fall als eine leitende Schicht ("Buried Plate") aufgefaßt werden.

[0027] Weiterhin wird ein Dielektrikum jeweils auf die erste Elektrode aufgebracht. Das Dielektrikum deckt die erste Elektrode bevorzugt in einem weiten Bereich ab, um eine große Oberfläche für eine möglichst große Kapazität zu erhalten. Auf das Dielektrikum wird schließlich jeweils eine zweite Elektrode aufgebracht, die das Dielektrikum bevorzugt ebenfalls weitgehend abdeckt.

[0028] Das Dielektrikum bestimmt durch die Dielektrizitätskonstante seines Materials oder seiner Materialien, durch die Fläche, mit der es die erste Elektrode von der zweiten Elektrode isoliert, sowie durch seine Dicke, die den Abstand der ersten Elektrode von der zweiten Elektrode definiert, die Kapazität des Grabenkondensators. Um eine große Kapazität zu erzielen, wird daher das Dielektrikum bevorzugt als dünne Schicht auf die erste Elektrode aufgebracht.

[0029] Bevorzugt haben die erfindungsgemäßen Gräben einen ovalen oder im wesentlichen runden oder quadratischen Querschnitt auf der Vorderseite des Halbleitersubstrates. Weiterhin haben die Gräben untereinander bevorzugt im wesentlichen die gleiche Form, d. h. weisen bevorzugt in etwa die gleichen Querschnitte und in etwa die gleiche Tiefe auf (< 20%-Schwankung bzgl. der Tiefe). Bevorzugt werden die Gräben durch einen Ätzschritt erzeugt und bevorzugt durch eine Ätzung an einer Maske, die somit die Anordnung der Gräben bestimmt. In einer anderen bevorzugten Ausführung können die Gräben jedoch auch als Makroporen auf elektrolytischem Wege erzeugt werden (näheres siehe dazu die am gleichen Tag eingereichte Patentanmeldung "Verfahren zur Herstellung von Grabenkondensatoren für hochintegrierte Halbleiterspeicher").

[0030] Bevorzugt sind die Gräben in einer regelmäßigen

zweidimensionalen Struktur angeordnet. Bei Halbleiterspeichern ergibt sich die Struktur bevorzugt aus dem Layout der Speicherzellen, die möglichst dicht gepackt sein sollen, wobei der Platzbedarf für Speicherzellenkomponenten (Transistor und Graben) und für Zuleitungen auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats zu berücksichtigen ist. Insbesondere sind die Gräben dort einzeln oder bevorzugt als dicht nebeneinander liegende Grabenpaare, Grabentriplets oder andere Grabenmultiplets so angeordnet, daß die einzelnen Gräben oder Grabenmultiplets bevorzugt einen regelmäßigen Abstand A1 in die eine Richtung voneinander und einen regelmäßigen Abstand A2 in eine andere Richtung voneinander aufweisen. Bevorzugt sind die beiden Richtungen weiterhin weitgehend senkrecht zueinander angeordnet. Auf diese Weise kann eine große Packungsdichte für die Grabenkondensatoren auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats erzielt werden.

[0031] Bevorzugt sind die Gräben mehr als zehn und bevorzugt auch mehr als dreißig mal so tief wie der maximale Durchmesser des jeweiligen Grabenquerschnitts an der Halbleitersubstratoberfläche. Je tiefer der Graben, um so größer die Grabenwandoberfläche und um so größer die Fläche für die Erzeugung von Mesoporen bei gegebenem Grabenquerschnitt für die Erzeugung eines Grabenkondensators.

[0032] Bevorzugt ist die Oberfläche des Halbleitersubstrats in den Bereichen zwischen den Gräben während der angelegten elektrischen Spannung mit einer horizontalen elektrisch isolierenden Abdeckschicht abgedeckt. Die horizontale elektrisch isolierende Abdeckschicht verhindert die Berührung des flüssigen Elektrolyten mit der Oberfläche des Halbleitersubstrats. Damit wird zum einen verhindert, daß sich während der elektrochemischen Ätzung Mesoporen auch an der Oberfläche des Halbleitersubstrats bilden; zum anderen wird damit aber auch verhindert, daß insbesondere in Regionen mit p-dotierten Oberflächen bei der elektrochemischen Ätzung ein erhöhter Strom fließt, der die Ausbildung elektrischer Felder zur Mesoporenbildung stört und so die Mesoporenbildung in den Gräben behindert. Bevorzugt weist die horizontale elektrisch isolierende Abdeckschicht eine Nitridschicht auf, insbesondere auch eine Oxidschicht.

[0033] Bevorzugt weisen die Gräben jeweils einen oberen Grabenbereich und einen unteren Grabenbereich auf, wobei die Grabenwandoberflächen der oberen Grabenbereiche während der angelegten elektrischen Spannung durch vertikale elektrisch isolierende Abdeckschichten abgedeckt sind und die Grabenwandoberflächen der unteren Grabenbereiche frei von Abdeckungen sind. Die vertikalen elektrisch isolierenden Abdeckschichten verhindert eine Berührung des flüssigen Elektrolyten mit dem Halbleitersubstrat und damit die Erzeugung von Mesoporen im oberen Grabenbereich. Weiterhin decken die vertikalen elektrisch isolierenden Abdeckschichten bevorzugt p-dotierte Oberflächenbereiche ab und verhindern so einen erhöhten Stromfluß zwischen den p-dotierten Regionen und dem flüssigen Elektrolyt. Bevorzugt ist die vertikale elektrisch isolierende Abdeckschicht eine Nitridschicht und bevorzugt auch eine Oxidschicht. Bevorzugt deckt die vertikale elektrisch isolierende Abdeckschicht die Grabenwandoberfläche bis zur Oberfläche des Halbleitersubstrats ab, so daß in den Gräben nur die Grabenwandoberflächen des unteren Grabenbereichs nicht abgedeckt sind. In diesem Fall reicht der obere Grabenbereich bis in eine Tiefe des Grabens von bevorzugt mehr als 0,5 µm, bevorzugt weniger als 2 µm. Ein typischer Wert für die Tiefe, in die der obere Grabenbereich in den Graben hineinreicht, ist 1 µm.

[0034] Die Erzeugung der vertikalen elektrisch isolieren-

den Abdeckschichten geschieht bevorzugt in mehreren Schritten. In einem ersten Schritt werden die Gräben mit einem Füllmaterial, bevorzugt aus Polysilizium, bis zu der Höhe aufgefüllt, bis zu der keine Abdeckung der Grabenwandoberfläche erzeugt werden soll.

[0035] Diese Höhe legt die Trennlinie zwischen oberem und unterem Grabenbereich fest. In einem zweiten Schritt wird die Oberfläche des Halbleitersubstrats und die der Grabenwände weitgehend konform mit einer abdeckenden Schicht, bevorzugt einer Nitridschicht, bedeckt. Bevorzugt wird nun die n-Dotierung durch die TEAS/TEOS-Oxid-schicht der Grabenwände im unteren Grabenbereich durch einen Annealschritt vorgenommen. In einem weiteren Schritt werden die horizontal verlaufenden Bereiche der abdeckenden Schicht durch einen weitgehend anisotropen Ätzschritt entfernt, so daß nur noch die vertikal verlaufenden Schichtbereiche übrigbleiben. Bevorzugt wird das Füllmaterial und die übriggebliebenen TEAS/TEOS-Oxid-schichtteile anschließend wieder entfernt.

[0036] Bevorzugt sind die Grabenwände der unteren Grabenbereiche n-dotiert. Bevorzugt ist die Dotierung der Grabenwände der unteren Grabenbereiche und die Stromdichte während des Anlegens der Spannung so gewählt, daß eine vorgegebene mittlere Mesoporendichte erzeugt wird. Über Stromdichte und Dotierung der Grabenwände wird die Ausdehnung der passivierten Bereiche neben den Mesoporen bzw. inversen Oberflächenspitzen und damit die mittlere Dichte der Mesoporen an den Grabenwänden festlegt. Die n-Dotierung der unteren Grabenbereiche wird bevorzugt durch eine Eindiffusion von Arsen, Phosphor und/oder Antimon erreicht. In einer bevorzugten Ausführung wird die Eindiffusion mittels einer durch Tri-Ethyl-Arsenat (TEAS oder $\text{AsO}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$) erzeugten Schicht, die auf die Grabenwände gebracht wird, und mittels eines Anneal/Drive-in-Schrittes erreicht. In einer anderen bevorzugten Ausführung wird die Eindiffusion mittels eines Gas-Phase-Deposition-Schrittes durchgeführt.

[0037] Bevorzugt wird die vorgegebene Stromdichte durch eine elektrische Spannung zwischen der Rückseite des Halbleitersubstrats und einer in dem flüssigen Elektrolyten eingebrachten Gegenelektrode erzeugt. Bevorzugt ist die Oberfläche der Rückseite des Halbleitersubstrats in dem Gebiet, in dem auf der Vorderseite Mesoporen erzeugt werden sollen, niederohmig, so daß die Rückseite in diesem Gebiet weitgehend auf gleichem elektrischen Potential liegt. Dadurch wird erreicht, daß der Strom in diesem Gebiet weitgehend senkrecht und mit weitgehend gleicher Stromdichte durch die Rückseite des Halbleitersubstrats zu den Gräben fließt.

[0038] In einer bevorzugten Ausführung geht der elektrischen Kontaktierung der Rückseite ein Dotierungsschritt zur Erzeugung einer Dotierungsschicht auf der Rückseite des Halbleitersubstrats voran. Mit diesem Schritt kann auf einfache Weise eine niederohmige Rückseitenschicht auf dem Halbleitersubstrat erzeugt werden. Bevorzugt ist die Dotierung eine p⁺-Dotierung, da bei einer p-Grunddotierung des Halbleitersubstrats so kein sperrender pn-Übergang auf der Rückseite erzeugt wird. Die Dotierung wird bevorzugt durch eine p-Implantation erzeugt.

[0039] Bevorzugt wird die Dotierungsschicht auf der Rückseite des Halbleitersubstrats nach der Erzeugung der Mesoporen wieder entfernt, um eine Verunreinigung der Vorderseite des Halbleitersubstrats durch das Dotierungsmaterial während nachfolgender Prozessschritte zu vermeiden.

[0040] In einer anderen bevorzugten Ausführung wird die elektrische Kontaktierung der Rückseite durch eine leitende Flüssigkeit, die mit der Rückseite des Halbleitersubstrats in

Kontakt steht, hergestellt. Bevorzugt ist die leitende Flüssigkeit ein Elektrolyt und bevorzugt Flußsäure (HF) in einer wässrigen Lösung. Die Kontaktierung mittels einer leitenden Flüssigkeit sorgt für einen über die Rückseite verteilten

5 homogenen niederohmigen Kontakt und macht damit den Rückseiten-Implantationsschritt überflüssig. Das Weglassen des Rückseiten-Implantationsschrittes wiederum erspart das Aufbringen einer Schutzschicht auf der Scheibenvorderseite, bevor die Scheibe für die rückseitige Implantation auf ihre Vorderseite gelegt wird, sowie das spätere Abätzen der Dotierungsschicht auf der Rückseite als auch der Schutzschicht auf der Vorderseite nach erfolgter Implantation. Überdies wird, bei Verwendung eines HF-haltigen Rückseitenelektrolyten ein zusätzlicher Nassätzschritt eingespart, welcher für die Entfernung von sich gebildetem natürlichen Siliziumoxid auf allen offenliegenden Siliziumflächen notwendig ist.

[0041] Bevorzugt ist der flüssige Elektrolyt auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats eine wässrige HF-Lösung, die einen HF-Anteil von bevorzugt höchstens 25% und typischerweise von 3% aufweist.

[0042] Bevorzugt ist die elektrische Spannung zwischen der Rückseite des Halbleitersubstrats und dem flüssigen Elektrolyt so ausgelegt, daß die Stromdichte durch die Rückseite des Halbleitersubstrats kleiner als 100 mA/cm² und bevorzugt kleiner als 50 mA/cm² ist. Die Stromdichte, bzw. die damit verknüpfte Spannung, welche über der Raumladungszone abfällt, bestimmt zusammen mit der n-Dotierstoffkonzentration an den Grabenwänden die Mesoporendichte an den Grabenwänden. Die Mesoporendichte ist durch die Ausdehnung der Raumladungszonen an den Seiten der Mesoporen gegeben, die als Passivierungsschicht eine Mesopore vor dem Wachsen einer benachbarten Mesopore schützen. Bevorzugt sind n-Dotierung und Stromdichte so gewählt, daß die Dicke der Raumladungszonen an den Seiten der Mesoporen bei etwa 10 nm bis 50 nm und bevorzugt 10 nm bis 30 nm liegen. Der Mindestabstand zweier Mesoporen ist in guter Näherung durch die Summe der Ausdehnungen der beiden Raumladungszonen gegeben. Auf diese Weise weisen benachbarte Mesoporen bevorzugt einen Mindestabstand von 20 nm bis 60 nm auf.

[0043] Bevorzugt weisen die Mesoporen eines Grabens nach dem elektrochemischen Verfahren einen Durchmesser von 2 bis 5 nm auf. Bevorzugt werden die Mesoporen nach ihrer Erzeugung aufgeweitet, um in den Mesoporen ausreichend Platz für die Aufbringung von leitenden und isolierenden Schichten für die Herstellung von Elektroden und Dielektrikum für die Grabenkondensatoren zur Verfügung zu haben. Die Aufweitung vergrößert Radius und Länge der Mesoporen um bevorzugt etwa das gleiche Maß. Bei der Herstellung von Halbleiterspeichern ist die Aufweitung bevorzugt kleiner als die Raumladungszonenausdehnung, um zu vermeiden, daß bei der Aufweitung Mesoporen eines ersten Grabens Mesoporen eines benachbarten Grabens berühren ("Kurzschluß"). Bevorzugt werden die Mesoporen für Halbleiterspeicher auf Durchmesser von bis zu 50 nm aufgeweitet.

[0044] Die Aufweitung der Mesoporen kann auf viele standardmäßige Methoden durchgeführt werden. Beispielsweise kann in einer ersten bevorzugten Ausführung die Aufweitung durch eine naßchemische Oxidation, z. B. mit H₂O₂, und eine anschließende Ätzung des Oxids, z. B. mit Flußsäure, geschehen. In einer zweiten bevorzugten Ausführung wird die Aufweitung durch ein elektrochemisches Verfahren nach Stand der Technik erreicht. Denkbar sind jedoch auch andere Verfahren zur Aufweitung der Mesoporen durch Abtrag von Wandflächenschichten der Mesoporen.

[0045] Bei Halbleiterspeichern weisen die Gräben Meso-

poren mit Längen bevorzugt größer als ein Viertel und bevorzugt größer als die Hälfte der Grabenwanddicke zum nächstliegenden Graben auf. Unter Grabenwanddicke ist dabei die kürzeste Entfernung zwischen zwei Gräben von Wand zu Wand zu verstehen. Durch eine möglichst große Mesoporenlänge wird die Oberfläche in den Gräben und Mesoporen möglichst groß, so daß eine große Fläche für die Aufbringung von Kondensatoren mit möglichst großen Elektrodenflächen zur Verfügung steht. Die Gefahr beim Erzeugen der Mesoporen, daß eine Mesopore in den Nachbargraben oder in eine Mesopore des benachbarten Grabens hineinwächst, was einem Kurzschluß zwischen benachbarten Grabenkondensatoren mit sich bringen kann, besteht aufgrund eines Selbstpassivierungsprozesses nicht. Umgekehrt erlaubt die Selbstpassivierung, daß die Mesoporen in Richtungen, in denen kein nächstliegender Graben angeordnet ist, weiter wachsen können als dies in einer Richtung zum nächstliegenden Graben möglich wäre. Durch die Selbstpassivierung kann somit das n-dotierte Volumen zwischen Gräben unabhängig von der Anordnung der Gräben zueinander maximal zur Mesoporenbildung genutzt werden, ohne daß es zu Kurzschlüssen zwischen Mesoporen kommt.

[0046] Unter Selbstpassivierungsprozess wird in diesem Zusammenhang der Effekt verstanden, daß das Mesoporenwachstum in der Länge selbstständig aufhört, wenn die Grabenwanddicke von der Mesopore z. B. zu einer benachbarten Mesopore oder zu einem benachbarten Graben oder zu einem anderen Hohlraum, einen minimalen Wert unterschreitet. Die Selbstpassivierung ist nach dem gegenwärtigen Verständnis durch die Dicke der Raumladungszone gegeben, die die elektrische Spannung in der Grenzschicht zwischen flüssigem Elektrolyt und Halbleitersubstrat im Halbleitersubstrat erzeugt. Der minimale Grabenwanddickenwert hängt demnach hauptsächlich von der Dotierungskonzentration und der Stromdichte ab. Die Selbstpassivierung liefert damit die Möglichkeit, die Erzeugung von Mesoporen über einen beinahe unbegrenzte Zeitraum zu betreiben, ohne daß die Gefahr eines Kurzschlusses zwischen benachbarten Gräben oder Mesoporen besteht. Auf diese Weise kann das Volumen im Halbleitersubstrat unterhalb der Oberfläche des Halbleitersubstrats für die Erzeugung für möglichst großen Kondensatorenflächen maximal genutzt werden. Bei Halbleiterspeichern kann auf diese Weise auch das Volumen im Halbleitersubstrat unterhalb der den Grabenkondensatoren benachbarten Transistoren für die Mesoporenbildung und Kondensatorflächenbildung genutzt werden, womit eine weitere Packungsdichtenerhöhung erzielt werden kann.

[0047] Bei Halbleiterspeichern dauert das Anlegen der elektrischen Spannung zwischen flüssigem Elektrolyt und Halbleitersubstrat bevorzugt länger, als die Zeit, die durch das Verhältnis der halben Grabenwanddicke zum nächstliegenden Graben zur mittleren Ätzrate gegeben ist. Die mittlere Ätzrate ist dabei durch die über die Zeit gemittelte Ätzrate gegeben. Da aufgrund der Selbstpassivierung keine Gefahr besteht, daß eine Mesopore einen "Kurzschluß" mit einer benachbarten Mesopore oder benachbarten Graben erzeugt, kann der Zeitraum des elektrochemischen Prozesses, der durch die Dauer des Anlegens der elektrischen Spannung zwischen flüssigem Elektrolyt und Halbleitersubstrat gegeben ist, wesentlich länger sein, als es ohne Selbstpassivierung der Fall wäre. Ohne Selbstpassivierung müßte der elektrochemische Prozeß kürzer sein als das Verhältnis von halber Grabenwanddicke zum nächstliegenden Graben zur mittleren Ätzrate, damit keine Berührung zwischen Mesoporen und benachbarten Gräben entsteht.

[0048] Ein elektrochemischer Prozeß, der länger als das Verhältnis von halber Grabenwanddicke zum nächstliegenden

den Graben zur mittleren Ätzrate ist, bringt den Vorteil, daß die Mesoporen in Richtungen, in denen kein nächstliegender Graben angeordnet ist, weiter wachsen können, um das vorhandene Volumen zur Mesoporenbildung maximal zu nutzen.

[0049] Bevorzugt ist die erste Elektrode eines Grabenkondensators durch die n-dotierten Bereiche der Grabenwandoberfläche und der Oberflächen der Mesoporen des Grabens gegeben. Dies vereinfacht die Herstellung, da die n-Dotierung der Graben- und/oder Mesoporenwände schon für die Mesoporenerzeugung vorgegeben war. In einer ersten bevorzugten Ausführung wird für die Fertigstellung der ersten Elektrode ein weiterer n-Dotierungsschritt durchgeführt. Auf diese Weise kann die Dotierungskonzentration, die für die Bildung der Mesoporen benötigt wird, unabhängig von der Dotierungskonzentration, die für die Erzeugung der ersten Elektrode erforderlich ist, gewählt werden. Bevorzugt wird die n-Dotierung durch einen Gas-Phase-Depositionsschritt und/oder einen TEAS-, TEOS- und anschließenden Anneal-Schritt erzeugt (TEOS steht für Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate).

[0050] In einer anderen bevorzugten Ausführung wird die erste Elektrode durch Aufbringen einer leitenden Schicht auf die n-dotierten Bereiche der Grabenwandbereiche und Oberflächen der Mesoporen erzeugt. Die leitende Schicht ist bevorzugt ein Metall oder Silizid, z. B. Wolfram oder Wolframsilizid. Auf diese Weise kann die Raumladungszone, die durch den Übergang von Dielektrikum und n-Silizium am Grabenwandbereich erzeugt wird und die eine parasitäre Kapazität zum Grabenkondensator bildet, eliminiert werden.

[0051] In einer zweiten bevorzugten Ausführung sind die n-dotierten Bereiche der Grabenwandoberflächen und der Oberflächen der Mesoporen bereits so hoch dotiert, daß kein zweiter n-Dotierungsschritt durchgeführt werden muß. Um jedoch der durch die hohe n-Dotierungskonzentration unerwünschten hohen Mesoporendichte entgegenzuwirken, wird in diesem Fall bevorzugt die Stromdichte so weit erhöht, daß der gewünschte Mesoporendichtewert wieder zurückgewonnen wird.

[0052] Bevorzugt ist das Dielektrikum für Halbleiterspeicher eine Oxid-Nitrid-Oxid (ONO) Schicht, eine Nitrid-Oxid (NO) Schicht, eine Aluminium-Oxidschicht oder eine Zirkonium-Oxidschicht. All diese Schichten sind prozeßkompatibel mit der Herstellung von Grabenkondensatoren und ermöglichen auch bei sehr dünnem Schichtaufbau eine im erforderlichen Maße durchdringungsfähige elektrische Isolation der beiden Elektroden voneinander. Für diskrete Grabenkondensatoren ist das Dielektrikum bevorzugt auch Siliziumoxid und/oder Nitrid. Bevorzugt deckt das Dielektrikum die gesamte n-dotierte Mesoporenwandoberfläche eines Grabens und den überwiegenden Teil der dazugehörigen Grabenwandoberfläche ab, da auf diese Weise ein Grabenkondensator mit größtmöglicher Fläche erzeugt werden kann.

[0053] Bevorzugt ist die zweite Elektrode für Halbleiterspeicher ein leitendes Material und bevorzugt Polysilizium, Wolfram-Silizid oder ein anderes Silizid. Für diskrete Grabenkondensatoren ist die zweite Elektrode bevorzugt auch Aluminium. Bevorzugt deckt die zweite Elektrode die Dielektrikumschicht weitgehend ab, da auf diese Weise ein Grabenkondensator mit größtmöglicher Fläche erzeugt werden kann. Die zweite Elektrode wird nach Aufbringung des Dielektrikums bevorzugt durch Füllen der Gräben und/oder Mesoporen mit einem leitenden Material erzeugt. Auf diese Weise entstehen keine Hohlräume im Graben- und Mesoporenbereich, die durch chemische Reaktionen (Oxidation etc.) im Laufe der Zeit Isolationsinseln erzeugen und den

Grabenkondensator unbrauchbar machen. In einer bevorzugten Ausführung ist das leitende Material dotiertes Polysilizium und insbesondere bevorzugt n-dotiertes Polysilizium. Bevorzugt wird das Polysilizium nach dem Füllen der Gräben von der Vorderseite des Halbleitersubstrates her zurückgeätzt, wobei der untere Grabenbereich weiterhin mit Polysilizium gefüllt bleibt.

[0054] In einer ersten Ausführung dienen die Grabenkondensatoren bevorzugt als diskrete Kondensator-Bauelemente. Durch die Mesoporen ist es möglich, die Kapazität von vergleichbaren Grabenkondensatoren ohne Mesoporen um eine Mehrfaches zu erhöhen.

[0055] In einer zweiten Ausführung dienen die Grabenkondensatoren mit erster Elektrode, Dielektrikum und zweiter Elektrode bevorzugt als Speicherkondensatoren für Speicherzellen, wobei die Speicherzellen bevorzugt mindestens einen Auswahltransistor aufweisen. Bevorzugt wird der Auswahltransistor an die zweiten Elektrode angeschlossen. Die Kontaktierung der Grabenkondensatoren an die jeweiligen Schaltungselemente, insbesondere an den jeweiligen Auswahltransistor, und an die gewünschten Potentiale, insbesondere an ein gemeinsames Bezugspotential, geschieht bevorzugt in Schritten, wie sie für die Herstellung von Halbleiterspeichern und insbesondere von DRAM-Bauelementen üblich sind.

[0056] In einer weiteren bevorzugten Ausführung sind die Speicherzellen für nichtflüchtige Halbleiterspeicher, insbesondere für ferroelektrische Speicher. In diesem Fall ist das Dielektrikum bevorzugt ein ferroelektrisches Material, insbesondere eines aus der Gruppe der Perowskit-Gruppe und insbesondere $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT), $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT), oder $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BTO).

[0057] In einer weiteren vorteilhaften Ausführung werden auch die Gräben durch einen elektrochemischen Prozeß erzeugt. Bevorzugt werden die Gräben dabei auch durch ein Anlegen einer Spannung zwischen der Rückseite des Halbleitersubstrats und einem flüssigem Elektrolyten, der auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats aufgebracht ist, erzeugt. Ein bevorzugtes Verfahren zur Erzeugung von Gräben mittels elektrochemischer Verfahren ist in der am gleichen Tag eingereichten Patentanmeldung "Verfahren zur Herstellung von Grabenkondensatoren für hochintegrierte Halbleiterspeicher" beschrieben.

[0058] In einer vorteilhaften Ausführung wird die elektrische Kontaktierung der Rückseite für das elektrochemische Verfahren für die Erzeugung der Gräben und der Mesoporen in der gleichen Elektrochemischen Kammer durchgeführt wird, wenn die Gräben ebenfalls durch eine elektrochemischen Prozeß erzeugt werden (Makroporen). Bevorzugt, wird die Erzeugung der Gräben und Mesoporen dann auch nur mit einem Rückkontaktierungsschritt zur Erzeugung einer elektrischen Verbindung zwischen der Spannungsquelle und der Rückseite der Halbleitersubstrats durchgeführt. Auf diese Weise werden einige Prozessierungsschritte eingespart. Eine detaillierte Beschreibung dieses Kontaktierungsverfahrens ist in der deutschen Patentanmeldung Nr. 901 09 039.9 unter dem Titel "Verfahren zur großflächigen elektrischen Kontaktierung eines Halbleiterkörpers mit Hilfe von Elektrolyten" beschrieben.

[0059] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren der Zeichnung näher dargestellt. Es zeigen:

[0060] Fig. 1) einen diskreten Grabenkondensator nach Stand der Technik;

[0061] Fig. 2a)–2e) schematische Darstellung eines Verfahrens zur Herstellung eines Grabenkondensators für einen Halbleiterspeicher nach Stand der Technik;

[0062] Fig. 3a)–3e) schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Anordnung

von Grabenkondensatoren für einen Halbleiterspeicher; [0063] Fig. 4) schematische Darstellung einer ersten erfindungsgemäßen Anordnung von Grabenkondensatoren mit Mesoporen für Halbleiterspeicher (als Aufsicht);

5 [0064] Fig. 5) schematische Darstellung einer zweiten erfindungsgemäßen Anordnung von Grabenkondensatoren mit Mesoporen für Halbleiterspeicher (als Aufsicht).

[0065] Fig. 1) sowie Fig. 2a) bis 2d) sind bereits weiter oben beschrieben worden.

10 [0066] Fig. 3a) bis 3i) beschreiben in schematischer Darstellung das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von Grabenkondensatoren auf der Vorderseite einer p-dotierten Siliziumscheibe. Das Verfahren ist bevorzugt Teil einer Prozessschritfolge für die Herstellung von Halbleiterspeichern und bevorzugt DRAM-Halbleiterspeichern. Maße und Skalierungen der dargestellten Figuren sind, wenn nicht anders ausdrücklich gesagt, dabei als nicht maßstabsgetreu zu verstehen.

[0067] Fig. 3a) zeigt eine p-dotierte Siliziumscheibe 3-1 mit einer Grunddotierung von etwa $3 \times 10^{15} \text{ 1/cm}^3$. Bevorzugte Kristallorientierung der Siliziumscheibe ist $\langle 100 \rangle$. Auf die Siliziumscheibe 3-1 wird zunächst eine dünne Oxidschicht, die bevorzugt ein dünnes Pad-Oxid 3-2 ist, eine Nitridschicht 3-3 und eine BSG-Schicht 3-4 aufgebracht, die als Maskenmaterial für die Maske zur Erzeugung der Gräben für die Grabenkondensatoren dienen. Pad-Oxid 3-2 und Nitridschicht 3-3 entstehen bei den Herstellungsverfahren gewöhnlich auch auf der Rückseite der Siliziumscheibe 3-1.

[0068] In einer vorteilhaften Ausführung folgt dann eine Rückseitenimplantation durch das Pad-Oxid 3-2 und die Nitridschicht 3-3 hindurch mit einem p-Implantat 3-5, die für eine niederohmige und gleichmäßige p-Implantations-schicht 3-6 zur Rückseitenkontaktierung für den späteren elektrochemischen Prozeß für die Erzeugung der Mesoporen sorgt. Eine typische Implantationsdosis für die Rückseitenimplantation mit Bor ist 10^{16} 1/cm^2 bei einer Energie von etwa 120 keV. Dieser Verfahrensschritt ist in Fig. 3a) gezeigt.

[0069] Im nächsten Schritt werden die BSG-Schicht 3-4, die Nitridschicht 3-3, das Pad-Oxid 3-2 und möglicherweise weitere aufliegende Schichten für die Grabenerzeugung strukturiert. Es folgt die Erzeugung der Gräben 3-9 durch einen anisotropen Trockenätzschritt, bevorzugt im RIE-Ätzverfahren (Fig. 3b)). In dieser Ausführung haben die Gräben, die in Fig. 3b) mit 3-9a, 3-9b und 3-9c einzeln gekennzeichnet sind, einen Durchmesser von bevorzugt 200 nm und kleiner und eine Tiefe von bevorzugt etwa 10 µm. Der minimale Abstand zweier nächstliegender Gräben 3-9 ist in dieser Ausführung etwa 200 nm. Daraus folgt eine minimale Grabenwanddicke 3-8 von etwa 200 nm. Je nach Anordnung der Gräben kann die Grabenwanddicke 3-8 in den Richtungen zu anderen benachbarten Gräben jedoch um das mehrfache größer sein. In diese Richtungen können die zu erzeugenden Mesoporen daher deutlich länger sein.

55 [0070] Ebenfalls in Fig. 3b) zu sehen ist die durch einen TEAS/TEOS-Schritt erzeugte TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10, die nach der Erzeugung der Gräben 3-9 durch ein Low-Pressure Chemical-Vapor-Deposition-Verfahren (LPCVD) auf die Siliziumscheibe 2-1 aufgebracht wird. Die durch den TEAS-Schritt erzeugte Schicht weist in dieser Ausführung bevorzugt eine planare Dicke von etwa 15 nm und die darauf aufliegende durch einen TEOS-Schritt erzeugte Schicht bevorzugt eine planare Dicke von etwa 10 nm auf. Insbesondere deckt die TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 die Grabenwandoberfläche 3-11 ab. Das Arsen aus der TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 wird für die später zu erfolgende n-Dotierung der Grabenwandoberfläche 3-11 mit Arsen benötigt.

[0071] Fig. 3c) zeigt schematisch die Siliziumscheibe 3-1, nachdem die Gräben 3-9 mit Polysilizium 3-14 aufgefüllt und am oberen Grabenrand, um mindestens 500 nm und bevorzugt um etwa 1500 nm von der Grabenoberkante, bevorzugt in einem trockenchemischen Ätzschritt, wieder zurückgeätzt worden sind. Anschließend wird die TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 naßchemisch geätzt, so daß sie nur noch im unteren Teil der Gräben zurückbleibt. Es ergibt sich dadurch die in Fig. 3c) gezeigte auffällige Struktur, daß das zurückgeätzte Polysilizium 3-14 in den Gräben 3-9 über die zurückgeätzte TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 um bevorzugt etwa 100 nm hinausragt. Das zurückgeätzte Polysilizium 3-14 dient als Hilfsstruktur für die Erzeugung einer seitlichen elektrisch isolierenden Abdeckschicht der Grabenwandoberflächen 3-11.

[0072] Durch das Zurückätzen des Polysiliums 3-14 und der TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 im Graben 3-9 wird eine Zweiteilung des Grabens 3-9 in einen oberen Grabenbereich 3-12, an dessen Grabenwandbereich später keine Mesoporen erzeugt werden, und in einen unteren Grabenbereich 3-13, an dessen Grabenwandbereich Mesoporen erzeugt werden, festgelegt. Die Unterdrückung der Mesoporenbildung im oberen Grabenbereich 3-12 verhindert unter anderem, daß Mesoporen zu dicht an der Oberfläche der Siliziumscheibe 3-1 entstehen und dadurch die Funktionsweise benachbarter Strukturen an der Oberfläche der Siliziumscheibe 3-1, z. B. von einem Auswahltransistor, beeinträchtigt wird. Weiterhin findet durch das Zurückätzen der TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 die für die Mesoporen erforderliche n-Dotierung nur im unteren Grabenbereich 3-13 statt. Der obere Grabenbereich 3-12 wird bevorzugt auch dafür benötigt, um Raum für einen Oxidkragen bereitzustellen, der für Grabenkondensatoren mit einer gemeinsamen ersten Elektrode ("Buried-Plate Grabenkondensatoren") gewöhnlich benötigt wird.

[0073] Fig. 3d) zeigt die Struktur nach dem Aufbringen einer zweiten elektrisch isolierenden Abdeckschicht 3-15a, die das Material für die zu erzeugenden vertikalen elektrisch isolierenden Abdeckschichten liefert. Bevorzugt ist die zweite elektrisch isolierende Abdeckschicht 3-15a aus Nitrid. Aufgrund der Teilfüllung der Gräben 3-9 mit Polysilizium 3-14 und TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 kann die zweite elektrisch isolierende Abdeckschicht 3-15a nur die Grabenwandoberfläche des oberen Grabenbereichs 3-12 abdecken. Die Schichtdicke der zweiten elektrisch isolierenden Abdeckschicht 3-15a ist in dieser Ausführung typischerweise 20 nm.

[0074] Nach der Abdeckung mit der zweiten Abdeckschicht 3-15a wird bevorzugt ein Anneal-Schritt durchgeführt, durch den das Arsen der an der Grabenwand verbliebenen TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 in die Grabenwand der unteren Grabenbereiche 3-13 eindiffundiert und aktiviert wird. Auf diese Weise werden die Grabenwände der unteren Grabenbereiche 3-13 n-dotiert. Die Diffusion des Arsens wird bevorzugt bis in eine Tiefe und mit einer Dosis durchgeführt, die ausreicht, daß das Silizium zwischen benachbarten Gräben 3-9 komplett n-dotiert wird, so daß im Grabenbereich eine n-dotierte Schicht 3-17 geformt ist. Eine bevorzugte n-Dotierungskonzentration ist im Bereich von $1 \times 10^{19} \text{ 1/cm}^3$. Auf diese Weise wird der gesamte Bereich zwischen den Wänden benachbarter Gräben als Volumen für das Wachstum von Mesoporen zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe der Mesoporen kann so für jeden Graben 3-9 das zur Verfügung stehende Volumen maximal für die Oberflächenengewinnung und damit Elektrodenflächengewinnung genutzt werden.

[0075] Fig. 3e) zeigt die Struktur nach den folgenden Schritten. Erst werden die horizontal verlaufenden Bereiche

der zweiten elektrisch isolierenden Abdeckschicht 3-15a durch einen anisotropen Ätzschritt entfernt, sodaß nur noch die vertikalen elektrisch isolierenden Abdeckschichten 3-15 an den Grabenwandoberflächen in den oberen Grabenbereichen 3-12 zurückbleiben. Die vertikalen elektrisch isolierenden Abdeckschichten 3-15 dienen der Unterdrückung der Mesoporenbildung im oberen Grabenbereich 3-12 und der Unterdrückung eines schädlichen Kurzschlußstromes zwischen flüssigem Elektrolyt und p-dotierten Regionen im oberen Grabenbereich. Dann werden das Polysilizium 3-14 und der verbliebene Anteil der TEAS/TEOS-Oxidschicht 3-10 aus den Gräben entfernt.

[0076] Nachdem in Ätzschritten die p-Implantationschicht 3-6 auf der Rückseite der Siliziumscheibe 3-1 freigelegt worden ist, kann das elektrochemische Verfahren zur Erzeugung der Mesoporen durchgeführt werden. Dazu wird die Siliziumscheibe 3-1 nach einem HF-Dip bevorzugt in einer Elektrochemischen Kammer 3-20 mit der Rückseite auf eine leitfähige Kontaktschicht 3-21 aufgelegt und ggf. dort angedrückt, so daß ein elektrischer Kontakt zwischen Siliziumscheibe 3-1 und leitfähiger Kontaktschicht hergestellt ist. Eine Ausführung der Elektrochemischen Kammer 3-20 ist in Fig. 3f) schematisch dargestellt. Die leitfähige Kontaktschicht 3-21 dient der elektrisch leitenden Verbindung zwischen Substrathalter 3-22 und Siliziumscheibe 3-1, um die Rückseite der Siliziumscheibe 3-1 auf ein definiertes Potential legen zu können.

[0077] Auf der Siliziumscheibe 3-1 ist weiterhin bevorzugt ein Ätzbecher 3-23 aufgesetzt, der über einen O-Ring wasserdicht mit der Siliziumscheibe 3-1 abschließt. In den Ätzbecher 3-23 wird der flüssige Elektrolyt 3-24 eingefüllt, der somit bevorzugt nur die Vorderseite der Siliziumscheibe 3-1 bedeckt und die Gräben auf der Vorderseite der Siliziumscheibe 3-1 füllt. In den flüssigen Elektrolyt 3-24 ist die Gegenelektrode 3-25 eingetaucht, deren zur Siliziumscheibe 3-1 gerichteten Oberfläche weitgehend koplanar zur Siliziumscheibe 3-1 ist und die den Bereich der Grabenkondensatoren auf der Siliziumscheibe 3-1 weitgehend überdeckt. Auf diese Weise wird für eine homogene Stromdichte im Gebiet der Rückseite der Siliziumscheibe 3-1 gesorgt, wobei die Stromrichtung bevorzugt weitgehend senkrecht zur Rückseite der Siliziumscheibe 3-1 verläuft. Die für den Stromfluß erforderliche Spannung wird durch eine Spannungsquelle 3-26 zwischen Gegenelektrode 3-25 und Substrathalter 3-22 bereitgestellt. Die Spannung an der Gegenelektrode 3-25 ist bevorzugt negativ in Bezug zum Substrathalter 3-22. Die Spannung wird auf einen Wert eingestellt, für den die Stromdichte im Bereich der Rückseite der Siliziumscheibe 3-1 im Bereich von 1 bis 100 mA/cm^2 liegt. Der Strom und damit die mittlere Stromdichte wird an einem Strommeßgerät 3-27 gemessen. Eine bevorzugte detaillierte Ausführung der Elektrochemischen Kammer ist in der deutschen Erstanmeldung vom 31. 5. 2000, die unter dem Aktenzeichen 100 27 931.7 geführt wird, beschrieben.

[0078] Als flüssiger Elektrolyt dient bevorzugt eine wässrige HF-Lösung, die einen HF-Anteil von bevorzugt höchstens 25% und bevorzugt 3% aufweist. Die mittlere Ätzrate beträgt in Abhängigkeit auch vom Elektrolyten in etwa 60 nm/min. Die Dauer dieses elektrochemischen Vorgangs beträgt bevorzugt etwa 5 Minuten. Sie dauert damit um etwa das 3-fache länger als die Zeit, die durch das Verhältnis der halben Grabenwanddicke zum nächstliegenden Graben 3-8 zur mittleren Ätzrate gegeben ist. Auf diese Weise können Mesoporen mit einer Länge, die etwa 1,5 mal so lang wie die Grabenwanddicke zum nächstliegenden Graben ist, erzeugt werden. Diese langen Mesoporen können jedoch nur in Richtungen wachsen, in denen kein nächstliegender Graben angeordnet ist. Auf diese Weise werden auch die Bereiche

zwischen benachbarten Gräben zur Bildung von Mesoporen genutzt.

[0079] Fig. 3g zeigt schematisch die Grabenanordnung nach dem elektrochemischen Verfahren. Die geätzten Mesoporen 3-30 haben je nach Stromdichte und Dotierung einen Durchmesser zwischen 2–20 nm und bevorzugt zwischen 2–10 nm. Ihre maximale Länge ist durch die Länge des elektrochemischen Verfahrens gegeben. In dieser Ausführung ist sie in etwa 1.5 mal so lang wie die Grabenwanddicke zum nächstliegenden Graben, also etwa 300 nm. Die Selbstpassivierung hindert die Mesoporen jedoch daran, die volle Länge zu erreichen, wenn die Mesopore zuvor an eine andere Mesopore oder Graben näher als etwa die doppelte Raumladungszonendicke heranwächst. Da in dieser Ausführung die Raumladungszone an den Seiten der Mesoporen etwa 10–30 nm beträgt, ist damit ein minimaler Abstand 3-41 zwischen zwei Mesoporen von etwa 20–60 nm definiert. Der minimale Abstand, den benachbarter Mesoporen zueinander haben können, ist im wesentlichen durch die Stromdichte zwischen 1 und 100 mA/cm² und die n-Dotierungskonzentration von etwa 10¹⁹ 1/cm³ gegeben.

[0080] Nach der elektrochemischen Ätzung der Mesoporen wird, um eine Verunreinigung der Vorderseite der Siliziumscheibe 3-1 durch die ggf. hochdotierte Rückseite zu verhindern, bevorzugt die p-Implantationsschicht 3-6 auf der Rückseite durch einseitiges Ätzen entfernt.

[0081] Um die Einbringung einer Dielektrikumsschicht und einer zweiten Elektrodenschicht in die Mesoporen 3-30 für die Herstellung von Kondensatoren zu erleichtern, werden die Mesoporen 3-30 bevorzugt aufgeweitet. Die Aufweitung muß jedoch deutlich kleiner sein als der durch die Raumladungszone gegebene minimale Abstand zwischen zwei Mesoporen, um zu gewährleisten, daß die Aufweitung nicht zu "Kurzschlüssen" zwischen benachbarten Mesoporen benachbarter Gräben führt. In der vorliegenden Ausführung werden die aufgeweiteten Mesoporen 3-30a an jeder Seite um bevorzugt etwa 10 nm bis 20 nm aufgeweitet, so daß der Durchmesser der aufgeweiteten Mesoporen 3-30a auf etwa 25 nm bis 50 nm anwächst. Die Länge der aufgeweiteten Mesoporen 3-30a steigt entsprechend auch um 10 nm bis 20 nm an.

[0082] Die Aufweitung in dieser Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geschieht bevorzugt durch eine Oxidierung der Grabenoberflächen und der Oberflächen der Mesoporen 3-30 und eine anschließende Ätzung des Oxids z. B. mit Flußsäure. Die Oxidierung kann durch mehrere Verfahren nach Stand der Technik erfolgen. In dieser Ausführung ist die Oxidierung naßchemisch mit H₂O₂, HF und H₂O ausgeführt worden.

[0083] Fig. 3h) zeigt schematisch die Struktur, nachdem die Mesoporen durch einen Oxidations- und Oxidationsätzschritt in Durchmesser und Länge aufgeweitet wurden. Nicht gezeigt ist in den folgenden Figuren, daß die Mesoporen holzwurmlochartig wachsen, d. h. daß sie im Wachstumsprozeß die Richtung ändern und somit kurvenförmig verlaufen können. Die Mesoporen können weiterhin unterschiedlich lang sein und einen sich ändernden Durchmesser haben.

[0084] Aufgrund der Selbstpassivierung geraten die Mesoporen 3-30 benachbarter Gräben 3-9 nicht in Berührung, sondern weisen einen minimalen Abstand zueinander auf. Der minimale Abstand zwischen zwei Mesoporen wird durch die Aufweitung zwar reduziert; er ist jedoch ausreichend, solange die Aufweitung der Mesoporen kleiner als die Raumladungszonendicke, die die Mesoporen passiviert, ist.

[0085] Weiterhin zeigt Fig. 3h) eine zusätzliche vergrabene n-dotierte Schicht 3-31, die durch einen zweiten Dotie-

rungsschritt zur Erhöhung der n-Dotierung im unteren Grabenbereich 3-13 erzeugt worden ist. Die zweite n-Dotierung geschieht bevorzugt durch Gas-Phase-Deposition-Doping oder alternativ mit einem weiteren TFAS/TFOS-Beschichtungsschritt und einem anschließenden Anneal-Prozeß, der das n-Dotierungsmaterial am offenen Silizium, d. h. insbesondere an den Grabenwänden 3-9 der unteren Grabenbereiche 3-13 und an den Wänden der aufgeweiteten Mesoporen 3-30a hineinreibt und aktiviert. Die auf diese Weise hoch n-dotierte Schicht bildet im Bereich der Gräben 3-9 bevorzugt eine vergrabene n-dotierte Schicht 3-31, die zum einen bevorzugt die erste Elektroden-schicht der Grabenkondensatoren und zum anderen bevorzugt eine niederohmige Verbindung zwischen den ersten Elektroden benachbarter Gräben darstellt, so daß die ersten Elektroden auf einem gemeinsamen Potential liegen. Auf diese Weise ist in einer vorteilhaften Weise eine "Buried Plate" erzeugt worden.

[0086] Die folgenden Schritte sind Stand der Technik und sind in Fig. 3i) schematisch gezeigt. Sie bestehen aus der Abscheidung einer Nitridschicht und der Erzeugung einer Oxidschicht, die als NO-Schicht zusammen eine dünne Dielektrikumsschicht 3-34 auf den Oberflächen der Gräben 3-9 und aufgeweiteten Mesoporen 3-30a bildet. Es folgt das Einbringen einer n-dotierten Polysiliziumfüllung als zweite Elektrode 3-36 des Speicherkondensators auf die Dielektrikumsschichten 3-34 in den Gräben und Mesoporen, wobei das Polysilizium der zweiten Elektrode 3-36 bevorzugt um etwa 1300 nm wieder zurückgeätzt wird, um dort Raum für die Isolierung der Grabenkrägen zu schaffen. Anschließend wird die Dielektrikumsschicht 3-34 und die vertikale elektrisch isolierende Abdeckschicht 3-15 durch Flußsäure bis zum Polysilizium wieder entfernt.

[0087] Die weiteren Schritte betreffen insbesondere die Kontaktierungen der vergrabenen n-dotierten Schicht 3-31 und der zweiten Elektroden 3-36 der Grabenkondensatoren mit z. B. Auswahltransistoren und Gleichspannungspotentialen. Diese Schritte können mit Methoden nach Stand der Technik durchgeführt werden und werden hier nicht weiter beschrieben.

[0088] Fig. 4) zeigt eine erste schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Ausführung von Grabenkondensatoren 3-40 für Halbleiterspeicher als Aufsicht auf die Oberfläche einer Siliziumscheibe 3-1.

[0089] Die Grabenkondensatoren 3-40 in Fig. 4) sind in einer regelmäßigen zweidimensionalen Struktur angeordnet mit einem Abstand A1 in eine erste Richtung und einem Abstand A2 in eine zweite Richtung, wobei im vorliegenden Fall beide Richtungen weitgehend senkrecht aufeinander stehen. Zu jedem Grabenkondensator 3-40 in Fig. 4) sind die zweite Elektrode 3-36 und die Dielektrikumsschicht 3-34 eingezeichnet, die jeweils in dem Graben 3-9 des Grabenkondensators 3-40 angeordnet sind. Schematisch sind die weitgehend radial von den Grabenwänden wegorientierten aufgeweiteten Mesoporen 3-30a, die durch Oxidierung und anschließende Oxidätzung aufgeweitet worden sind, eingezeichnet. In der Wirklichkeit sind die aufgeweiteten Mesoporen 3-30a nicht sichtbar, da sie sich unterhalb der Oberfläche der Siliziumscheibe 3-1 befinden. Die aufgeweiteten Mesoporen 3-30a dienen der Erhöhung der Gesamtoberfläche eines Grabens 3-9.

[0090] Dielektrikumsschicht 3-34 und zweite Elektrode 3-36 sind in den Mesoporen aus Platzgründen nicht eingezeichnet. Die ersten Elektroden sind in dieser bevorzugten Ausführung durch die vergrabene n-dotierte Schicht gegeben, die ebenfalls unterhalb der Oberfläche der Siliziumscheibe liegt und in Fig. 4) nicht dargestellt ist.

[0091] Die aufgeweiteten Mesoporen 3-30a eines Grabens 3-9 haben unterschiedliche Länge aufgrund der Selbstpassi-

vierung der Mesoporen beim Wachsen der Mesoporen. Die Selbstpassivierung setzt ein, sobald der minimale Abstand zwischen zwei Mesoporen 3-41 (oder zu einem Graben) erreicht ist. Die Mesoporen sind daher besonders lang in die Richtungen, in denen ein benachbarter Graben weiter entfernt ist.

[0092] Durch die Wahl einer langen Zeitdauer des elektrochemischen Prozesses wachsen auf diese Weise die Mesoporen bevorzugt bis zu der Stelle, an der sich schon andere Mesoporen gebildet haben. Auf diese Weise können auch Bereiche des Volumens zwischen den Gräben für die Mesoporenbildung genutzt werden, die anders, z. B. bei einer radialen Erweiterung der Gräben zur Erhöhung der Oberflächen, nicht erreicht werden könnten. Weiterhin besteht nicht die Gefahr, daß bei Nichtbeachtung von Minimalabständen zwischen Mesoporen verschiedener Gräben sich "Kurzschlüsse" zwischen Mesoporen bilden, da die Selbstpassivierung das Berühren zweier Mesoporen nicht nur verhindert, sondern sogar einen Sicherheitsabstand garantiert. Aufgrund der Eigenschaften der Selbstpassivierung kann daher das zur Verfügung stehende Siliziumvolumen zwischen den Gräben zur Bildung einer möglichst großen Oberfläche für Elektroden auf optimale Weise genutzt werden.

[0093] Fig. 5) zeigt eine andere bevorzugte Ausführung der erfindungsgemäßen Grabenkondensatoren. Sie unterscheidet sich von der Ausführung von Fig. 4) vor allem durch die Anordnung der Gräben 3-9 für die Grabenkondensatoren 3-40. In dieser bevorzugten Ausführung sind die Gräben als Grabenpaare so angeordnet, daß sie in die eine Richtung einen regelmäßigen Abstand A1 und in die andere Richtung A2 einen regelmäßigen Abstand A2 aufweisen. Durch die Anordnung von dicht nebeneinanderliegenden Paaren wäre eine konzentrische Aufweitung der Gräben 3-9 zur Erhöhung der Grabenwandoberflächen nur in geringem Umfang möglich, da sonst die Gefahr einer Berührung der Grabenpaare miteinander besteht. Ein Großteil des Volumens zwischen den Gräben wäre ungenutzt.

[0094] Aufgrund des erfindungsgemäßen selbstpassivierenden Wachstums von Mesoporen 3-9 ist es jedoch möglich, mit Hilfe der Mesoporen Grabenoberflächen auch in den entfernter liegenden Regionen der Gräben zu erzeugen, ohne "Kurzschlüsse" mit dem nächstliegenden Grabenpaar-Partner zu bilden. Das Volumen des Halbleitersubstrats zwischen den Gräben kann auf diese Weise effektiv für eine möglichst hohe Kapazität der Grabenkondensatoroberflächen genutzt werden.

Figurenlegende

- 1-1 Siliziumsubstrat
- 1-2 Graben
- 1-3 Isolationsschicht
- 1-4 zweite Elektrode
- 1-6 Kontaktschicht
- 2-1 Siliziumscheibe
- 2-2 Pad-Oxid
- 2-3 Nitridschicht
- 2-4 Oxidschicht
- 2-5 Polysiliziumschicht
- 2-6 Photoresistmaskenschicht
- 2-7 erstes Trockenätzgas
- 2-8 zweites Trockenätzgas
- 2-10 erste Elektrode
- 2-11 Dielektrikum
- 2-12 zweite Elektrode
- 2-13 Maskenöffnungen
- 2-15 Graben
- 3-1 Siliziumscheibe

- 3-2 Pad-Oxid
- 3-3 Nitridschicht
- 3-4 BSG-Schicht
- 3-5 p-Implantat
- 3-6 p-Implantationsschicht
- 3-8 Grabenwanddicke
- 3-9 Graben
- 3-10 TEAS/TEOS-Oxidschicht
- 3-11 Grabenwandoberfläche
- 3-12 oberer Grabenbereich
- 3-13 unterer Grabenbereich
- 3-14 Polysilizium
- 3-15 vertikale elektrisch isolierende Abdeckschicht
- 3-15a zweite elektrisch isolierende Abdeckschicht
- 3-16 horizontale elektrisch isolierende Abdeckschicht
- 3-17 n-dotierte Schicht
- 3-20 elektrochemische Kammer
- 3-21 leitfähige Kontaktschicht
- 3-22 Substrathalter
- 3-23 Ätzbecher
- 3-24 flüssiger Elektrolyt
- 3-25 Gegenelektrode
- 3-26 Spannungsquelle
- 3-27 Strommeßgerät
- 3-30 Mesoporen
- 3-30a aufgeweitete Mesoporen
- 3-31 vergrabene n-dotierte Schicht
- 3-34 Dielektrikumsschicht
- 3-36 zweite Elektrode
- 3-40 Grabenkondensatoren
- 3-41 minimaler Abstand zwischen zwei Mesoporen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mindestens einem Grabenkondensator mit den folgenden Schritten:

- ein Halbleitersubstrat mit einem oder einer Mehrzahl von Gräben auf der Vorderseite eines Halbleitersubstrats wird bereitgestellt, wobei der Graben an der Grabenwandoberfläche eine vorgegebene n-Dotierung aufweist;
- ein flüssiger Elektrolyt wird auf die Vorderseite des Halbleitersubstrats aufgebracht;
- eine elektrische Spannung zwischen der Rückseite des Halbleitersubstrats und dem flüssigen Elektrolyt wird angelegt, so daß ein elektrischer Strom mit einer vorgegebenen Stromdichte fließt und Mesoporen in der Grabenwand erzeugt werden;
- eine erste Elektrode wird in dem Graben und den dazugehörigen Mesoporen erzeugt;
- ein Dielektrikum wird auf die erste Elektrode aufgebracht;
- eine zweite Elektrode wird auf das Dielektrikum aufgebracht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben in einer regelmäßigen zweidimensionalen Struktur angeordnet sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben im wesentlichen die gleiche Form haben.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt der Gräben von der Oberfläche des Halbleitersubstrats aus gesehen oval oder im wesentlichen rund ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben mehr als zehn mal so tief sind wie der maximale Querschnitt des

jeweiligen Grabens an der Oberfläche des Halbleiter-
substrats.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche des
Halbleitersubstrats in den Bereichen zwischen den
Gräben während der angelegten elektrischen Spannung
mit einer horizontalen elektrisch isolierenden Abdeck-
schicht, bevorzugt aus Nitrid, abgedeckt ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-
che, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben jeweils
einen oberen Grabenbereich und jeweils einen unteren
Gabenbereich aufweisen, wobei die Grabenwandober-
flächen der oberen Grabenbereiche während der ange-
legten elektrischen Spannung mit vertikalen elektrisch
isolierenden Abdeckschichten, bevorzugt aus Nitrid,
abgedeckt sind, und die Grabenwandoberflächen der
unteren Grabenbereiche während der angelegten elek-
trischen Spannung frei von elektrisch isolierenden Ab-
deckschichten sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
daß die Grabenwände der unteren Grabenbereiche
n-dotiert sind.

9. Verfahren nach Anspruch 7 bis 8, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Dotierung der Grabenwände der unter-
en Grabenbereiche und die Stromdichte so gewählt
werden, daß eine vorgegebene mittlere Mesoporen-
dichte erzeugt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebene
Stromdichte durch eine elektrische Spannung zwischen
der Rückseite des Halbleitersubstrats und einer in dem
flüssigen Elektrolyten eingebrachten Gegenelektrode
erzeugt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekenn-
zeichnet, daß der elektrischen Kontaktierung der Rück-
seite des Halbleitersubstrats ein Dotierungsschritt zur
Erzeugung einer Dotierungsschicht auf der Rückseite
des Halbleitersubstrats vorangeht.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Dotierungsschicht auf der Rückseite
des Halbleitersubstrats nach der Erzeugung der Mesoporen
entfernt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der flüssige
Elektrolyt eine wässrige HF-Lösung ist, die einen HF-
Anteil von bevorzugt höchstens 25% aufweist.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische
Spannung zwischen Rückseite des Halbleitersubstrats
und flüssigem Elektrolyt so ausgelegt ist, daß die
Stromdichte durch die Rückseite des Halbleitersub-
strats kleiner als 100 mA/cm^2 und bevorzugt kleiner als
 50 mA/cm^2 ist.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Mesoporen-
durchmesser der Mesoporen eines Grabens im Mittel
größer als 5 nm ist.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mesoporen
vor dem Aufbringen des Dielektrikums aufgeweitet
werden.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Mesoporen-
durchmesser der Mesoporen eines Grabens im Mittel
kleiner als 50 nm ist.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben Mesoporen
mit einer Länge größer als ein Viertel und be-

vorzugt größer als die Hälfte der Grabenwanddicke
zum nächstliegenden Graben aufweisen.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Anlegen der
elektrischen Spannung zwischen flüssigem Elektrolyt
und Halbleitersubstrat länger dauert als die Zeit, die
durch das Verhältnis der halben Grabenwanddicke zum
nächstliegenden Graben zur mittleren Ätzrate gegeben
ist.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mesoporen
benachbarter Gräben sich nicht berühren.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Elek-
trode eines Grabenkondensators durch die n-dotierten
Bereiche der Grabenwandoberfläche und der Oberflä-
chen der Mesoporen des Grabens gegeben ist.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekenn-
zeichnet, daß für die Fertigstellung der ersten Elek-
trode eines Grabenkondensators ein n-Dotierungs-
schritt durchgeführt wird.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektri-
kum des Grabenkondensators eine Oxid-Nitrid-Oxid-
schicht, Nitrid-Oxidschicht, Aluminium-Oxidschicht
oder Zirkonium-Oxidschicht ist.

24. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Elek-
trode eines Grabenkondensators Polysilizium oder
Wolfram-Silizit ist.

25. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Grabenkonden-
satoren Speicherkondensatoren für Speicherzellen
sind.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Speicherzellen Speicherelementen von
DRAM-Bauelementen oder von ferroelektrischen
Halbleiterspeicher sind.

27. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben
durch ein elektrochemisches Verfahren erzeugt worden
sind.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die elektrische Kontaktierung der Rück-
seite für das elektrochemische Verfahren für die Erzeu-
gung der Gräben und der Mesoporen in der gleichen
Elektrochemischen Kammer durchgeführt wird.

29. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleiter-
substrat eine p-dotierte Siliziumscheibe ist.

30. Halbleiterbauelement mit mindestens einem Graben-
kondensator auf der Vorderseite eines Halbleiter-
substrats,

wobei der Grabenkondensator mindestens einen Graben
im Halbleitersubstrat mit Mesoporen in der Grabenwand
aufweist;

wobei die Grabenwand und die Wände der Mesoporen
des Grabenkondensators eine erste Elektrode aufweist
oder auf der Grabenwand und auf den Wänden der Mesoporen
des Grabenkondensators eine erste Elektrode
aufgebracht ist;

wobei auf der ersten Elektrode des Grabenkondensators
ein Dielektrikum aufgebracht ist;

wobei auf dem Dielektrikum des Grabenkondensators
eine zweite Elektrode aufgebracht ist.

31. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30, dadurch
gekennzeichnet, daß der Grabenkondensator in einer
Pluralität und bevorzugt in einer regelmäßigen zweidi-

mensionalen Struktur angeordnet ist.

32. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Gräben untereinander im wesentlichen die gleiche Form haben.

33. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 32, 5 dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt des Grabens von der Oberfläche des Halbleitersubstrats aus gesehen oval oder im wesentlichen rund ist.

34. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 33, 10 dadurch gekennzeichnet, daß der Graben mehr als zehn mal so tief sind wie der maximale Querschnitt des Grabens an der Oberfläche des Halbleitersubstrats.

35. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 34, 15 dadurch gekennzeichnet, daß der Graben einen oberen Grabenbereich und einen unteren Grabenbereich aufweist, wobei nur der untere Grabenbereich Mesoporen aufweist.

36. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 35, 20 dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Mesoporendurchmesser des Grabens jeweils größer als 5 nm ist.

37. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 36, 25 dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Mesoporendurchmesser des Grabens jeweils kleiner als 50 nm ist.

38. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 37, 30 dadurch gekennzeichnet, daß der Graben Mesoporen mit einer Länge größer als ein Viertel und bevorzugt größer als die Hälfte der Grabenwanddicke zum nächstliegenden Graben aufweisen.

39. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 38, 35 dadurch gekennzeichnet, daß die Mesoporen benachbarter Gräben sich nicht berühren.

40. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 39, 40 dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektrikum eines Grabenkondensators eine Oxid-Nitrid-Oxidschicht, Nitrid-Oxidschicht, Aluminium-Oxidschicht oder Zirkonium-Oxidschicht ist.

41. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 40, 45 dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Elektrode eines Grabenkondensators Polysilizium oder Wolfram-Silizium ist.

42. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 41, 50 dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitersubstrat aus Silizium ist.

43. Halbleiterbauelement nach Anspruch 30 bis 42, 55 dadurch gekennzeichnet, daß die Grabenkondensatoren Speicherkondensatoren für Speicherzellen sind.

44. Halbleiterbauelement nach Anspruch 43, 60 dadurch gekennzeichnet, daß die Speicherzellen Speicherzellen von DRAM-Bauelementen oder ferroelektrischen Halbleiterspeichern sind.

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

FIG 1

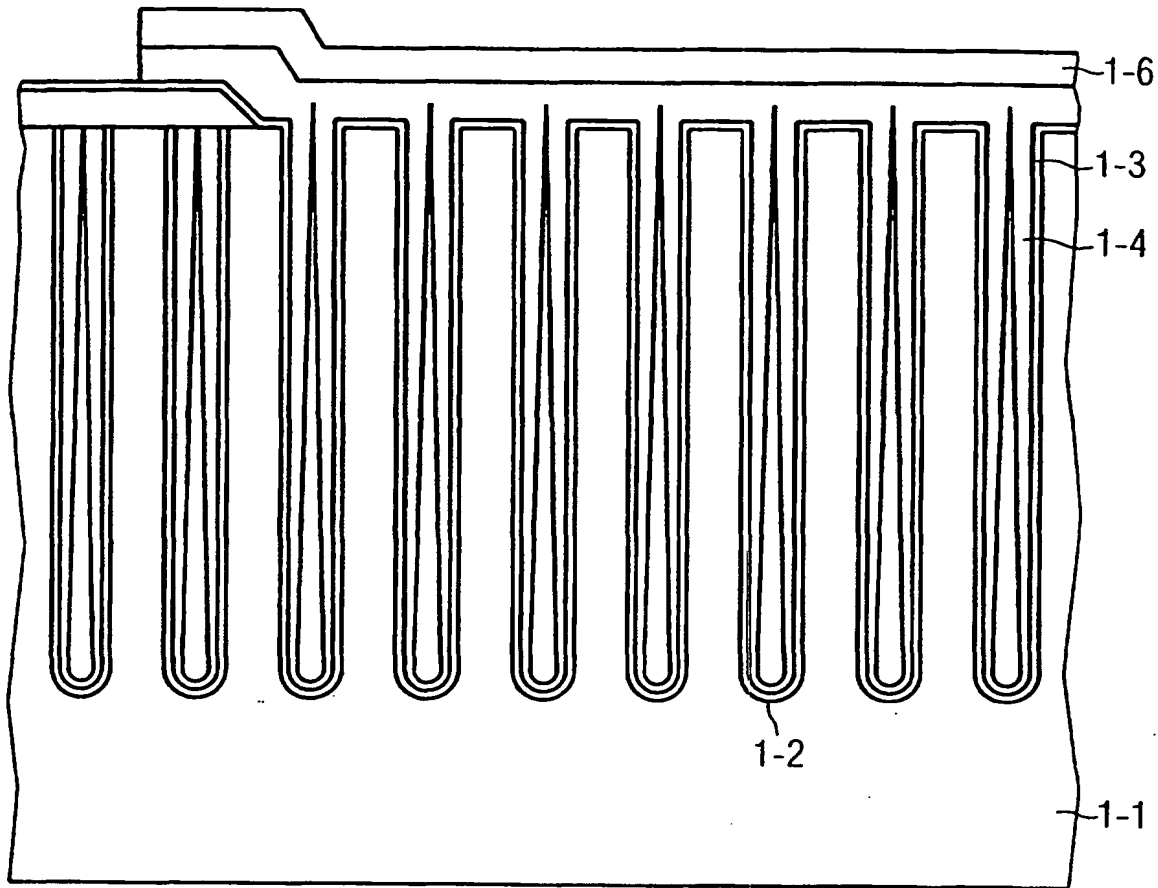


FIG 2a

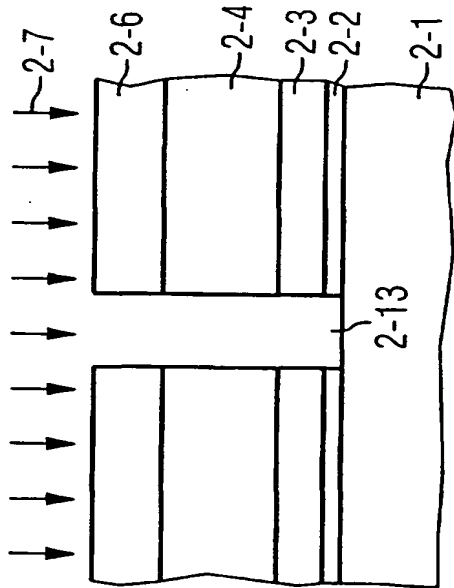


FIG 2b

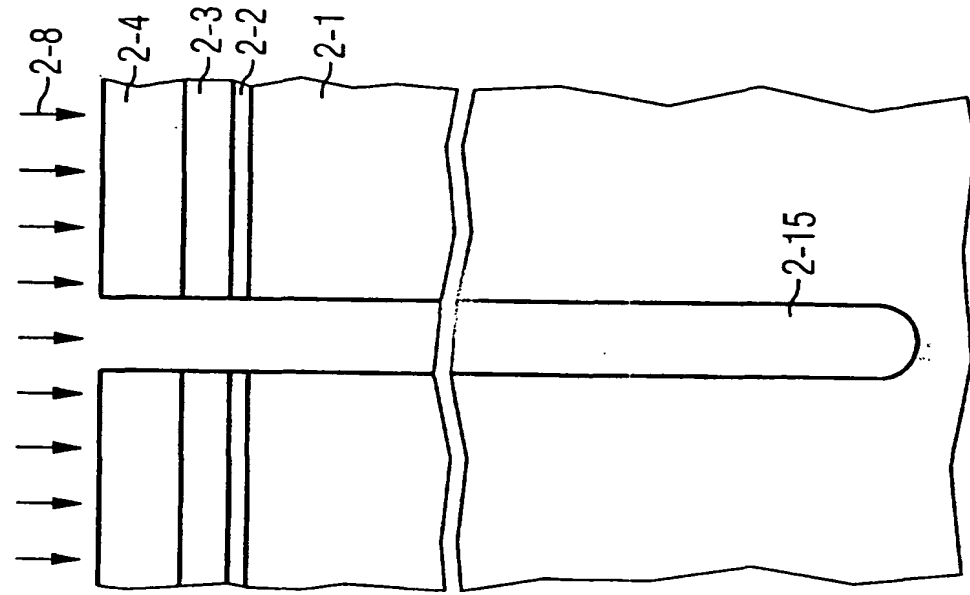


FIG 2d

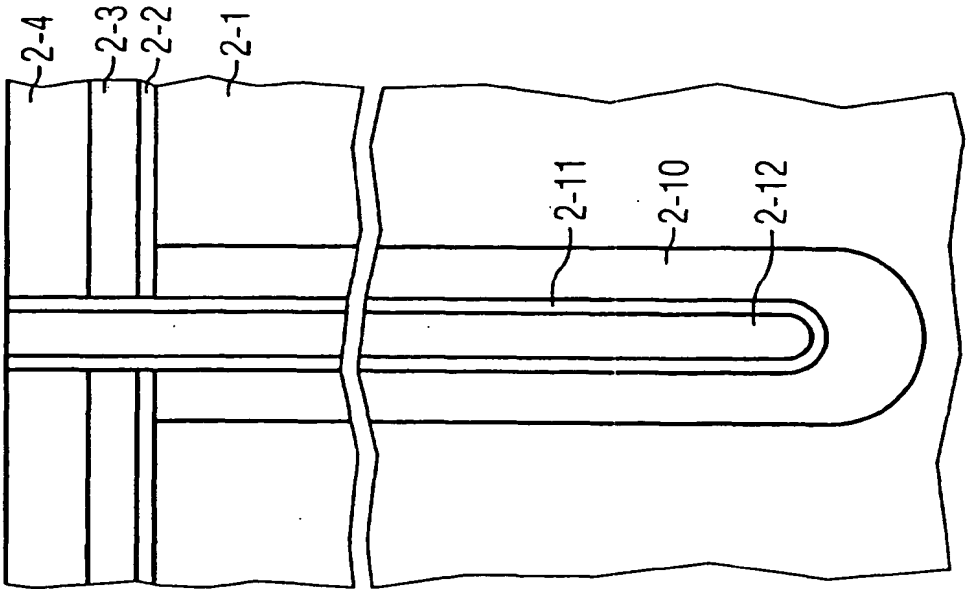


FIG 2c

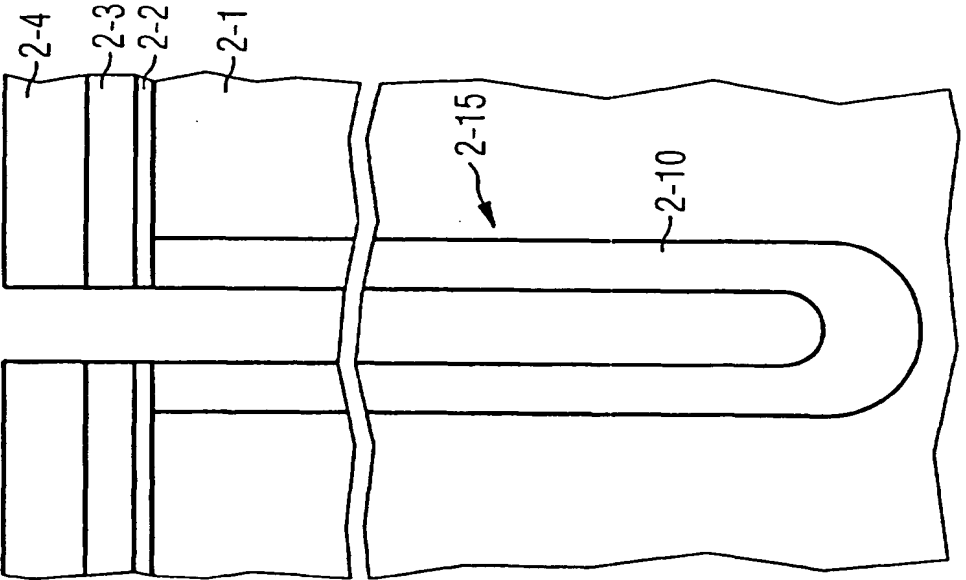
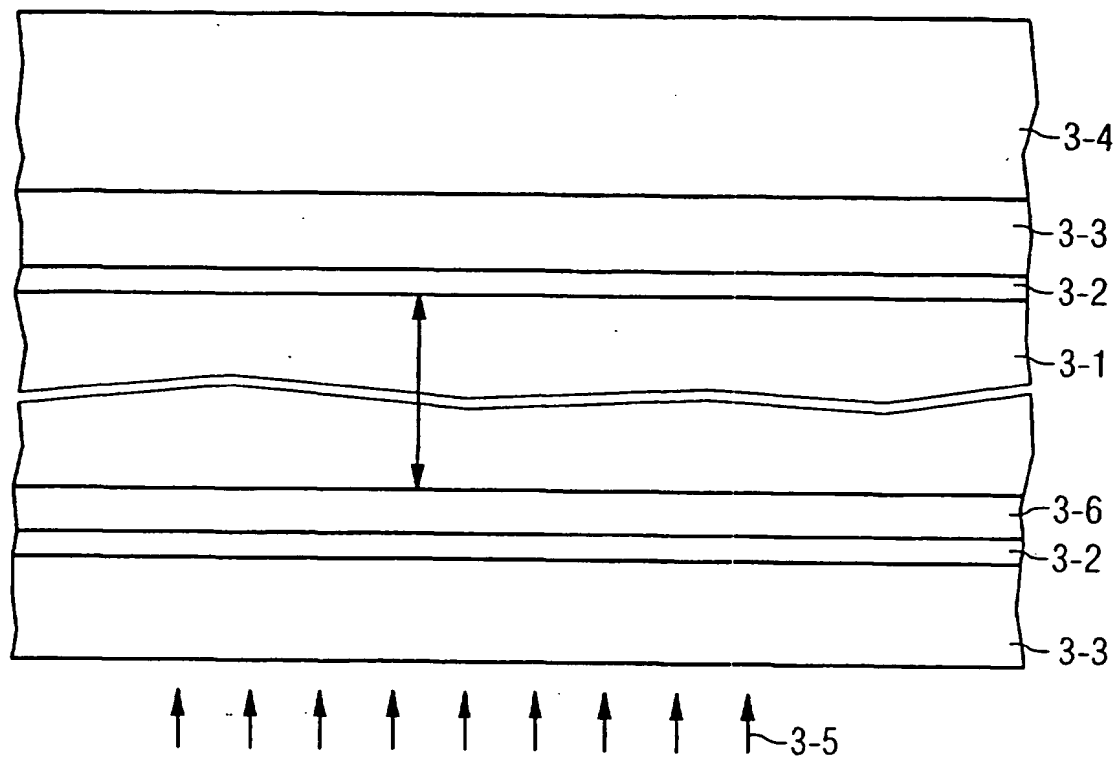
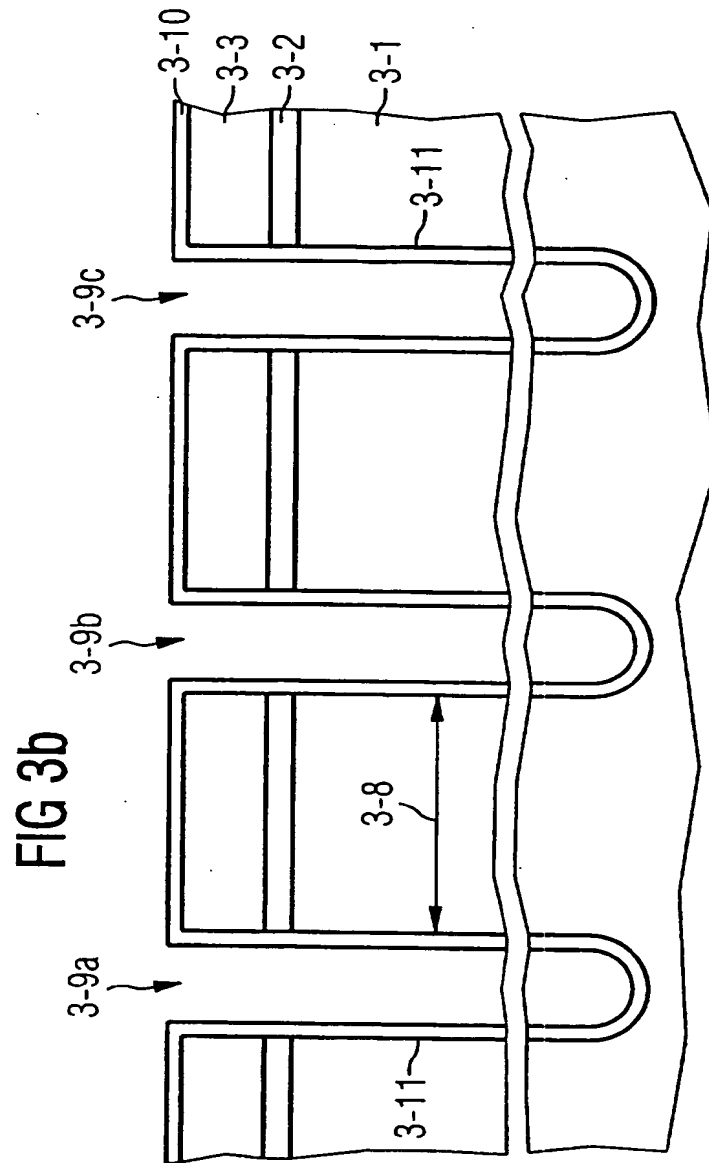
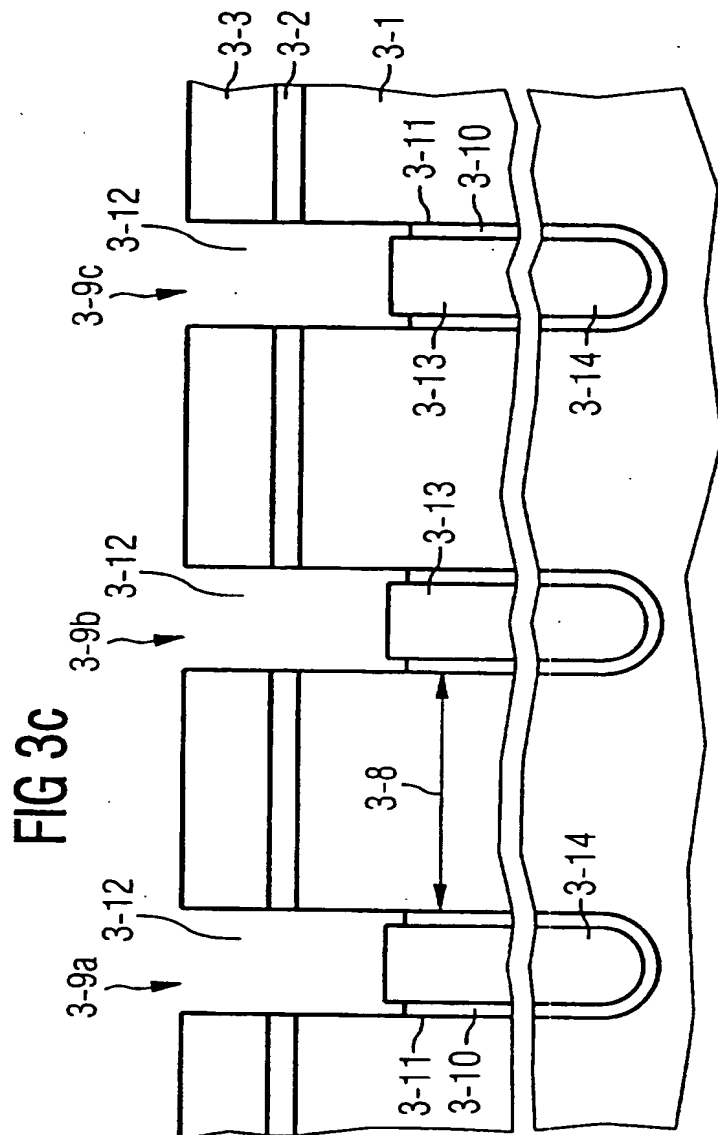
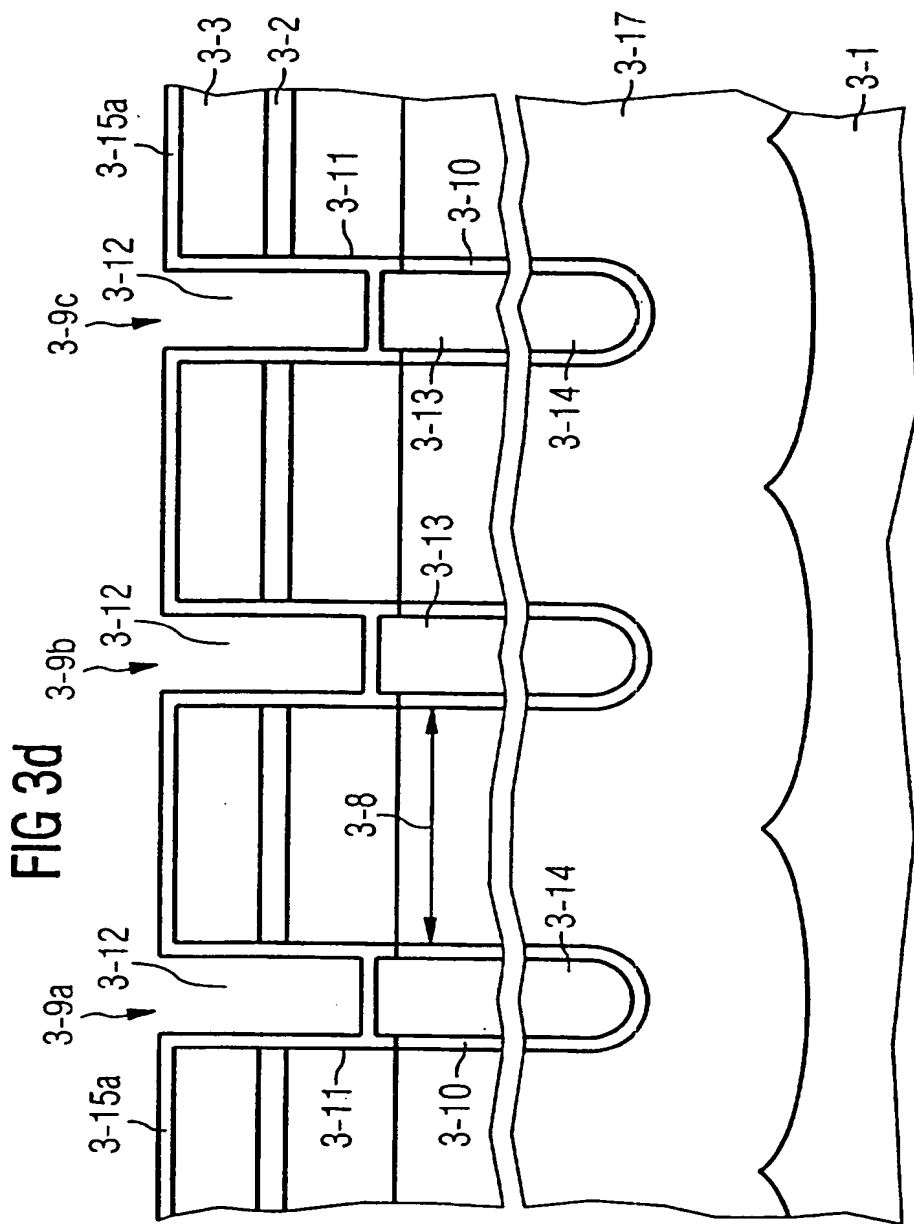


FIG 3a









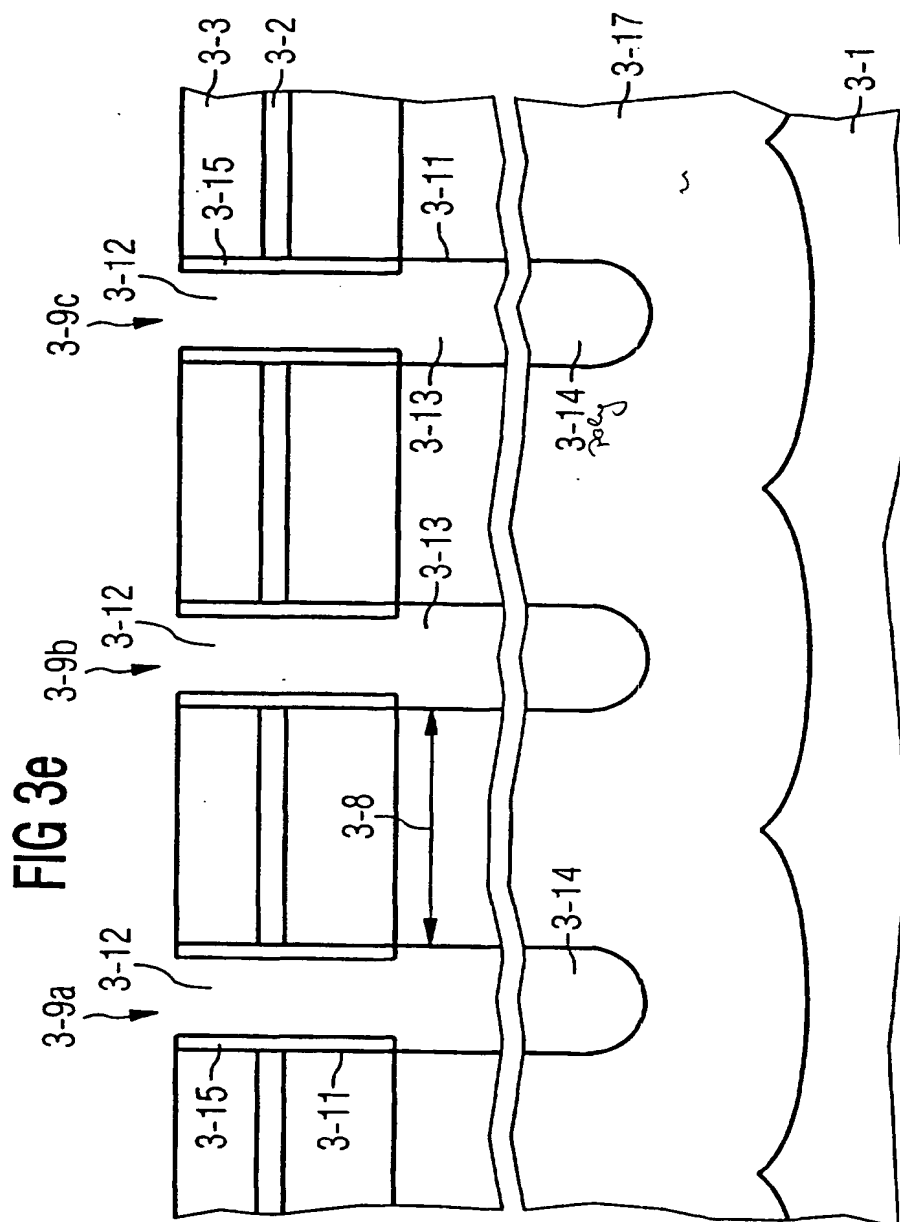
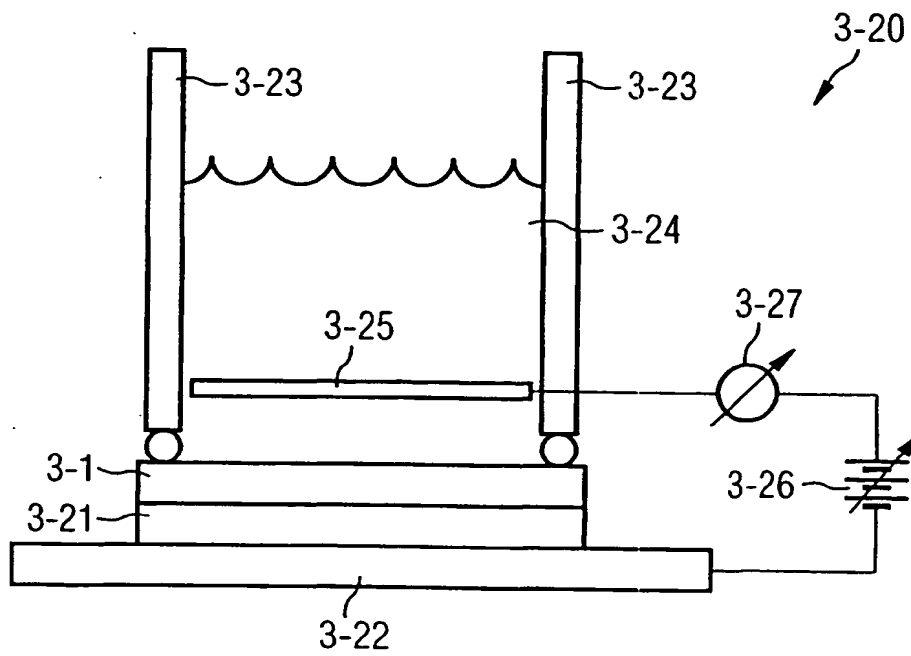
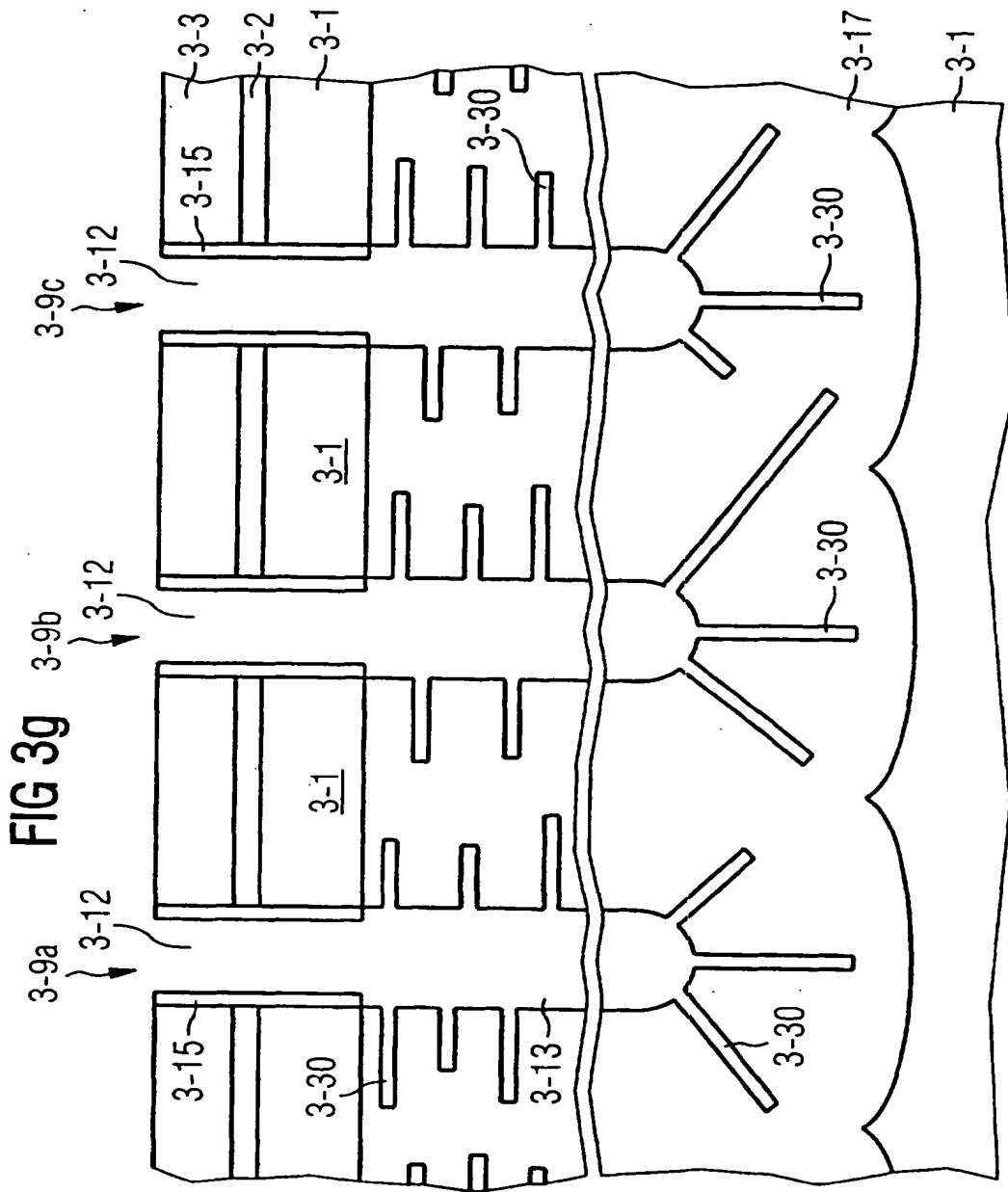


FIG 3f





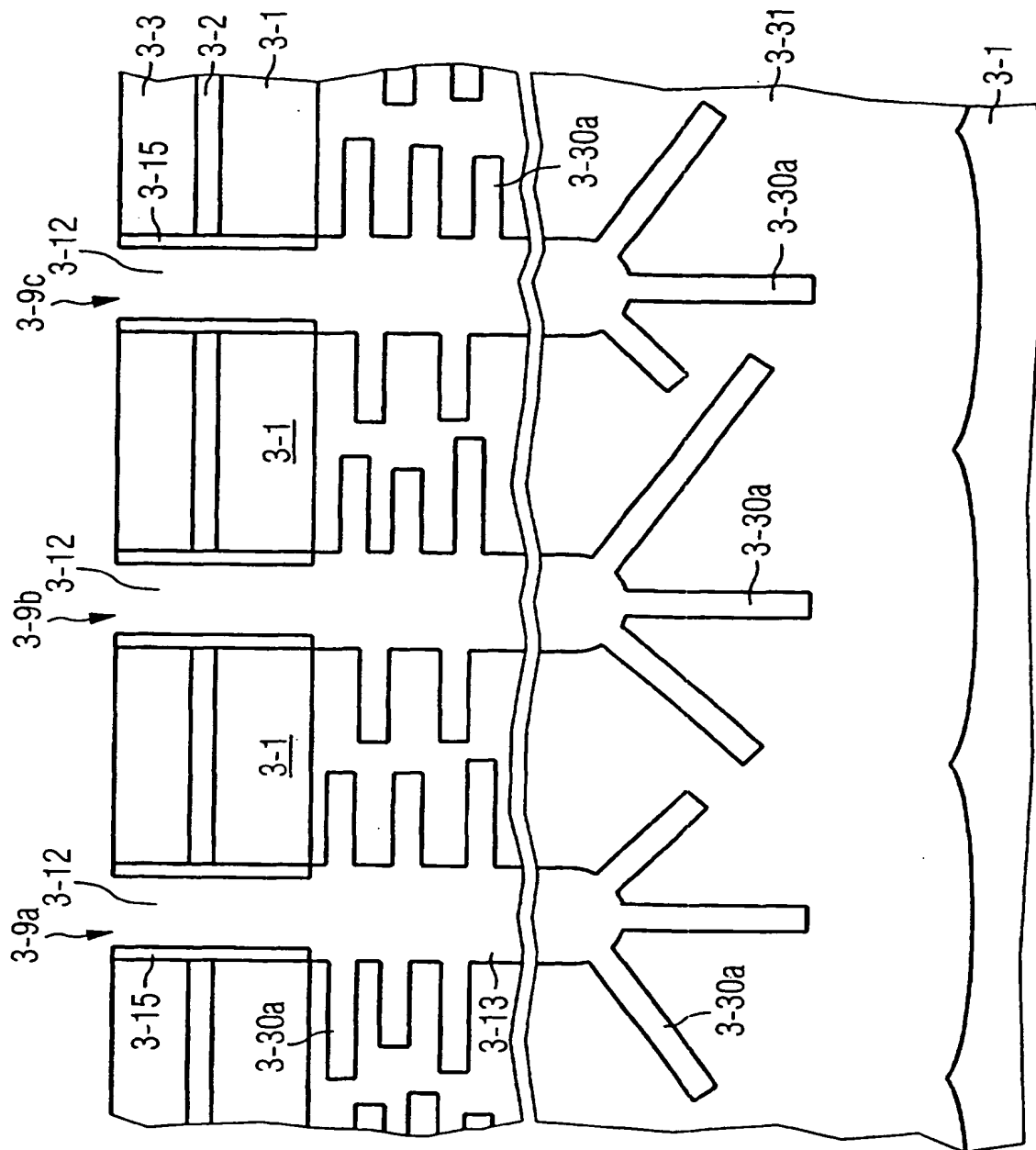
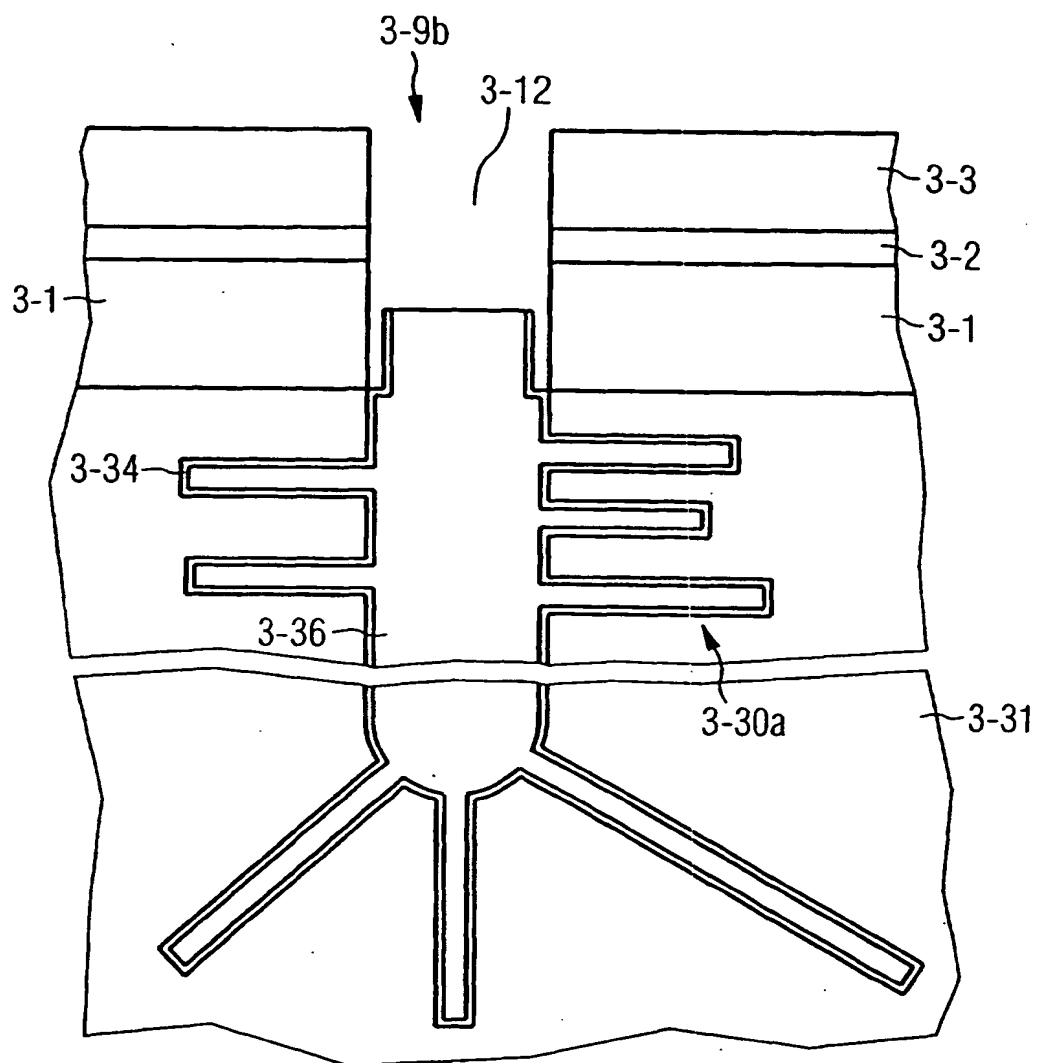
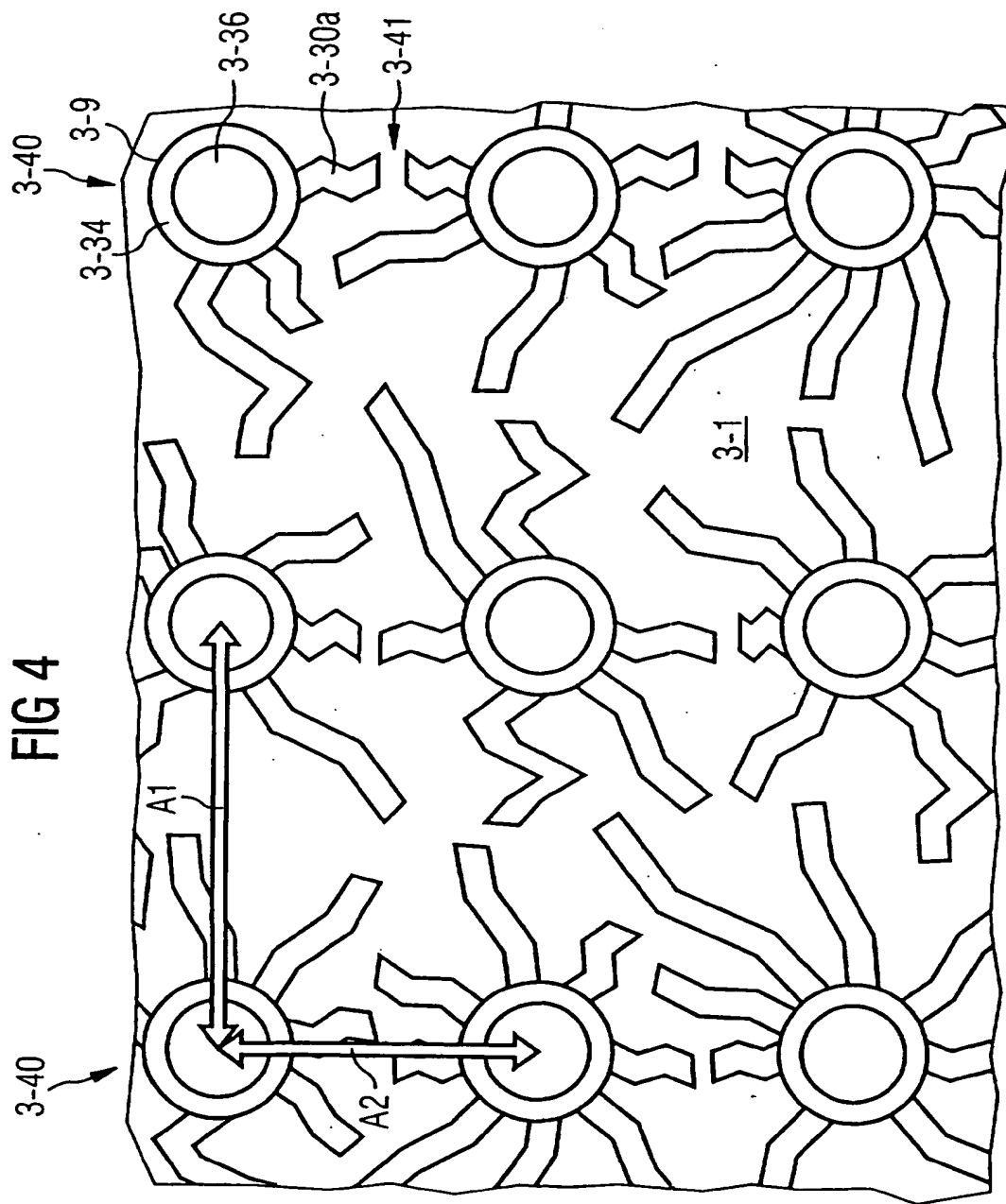


FIG 3h

FIG 3i





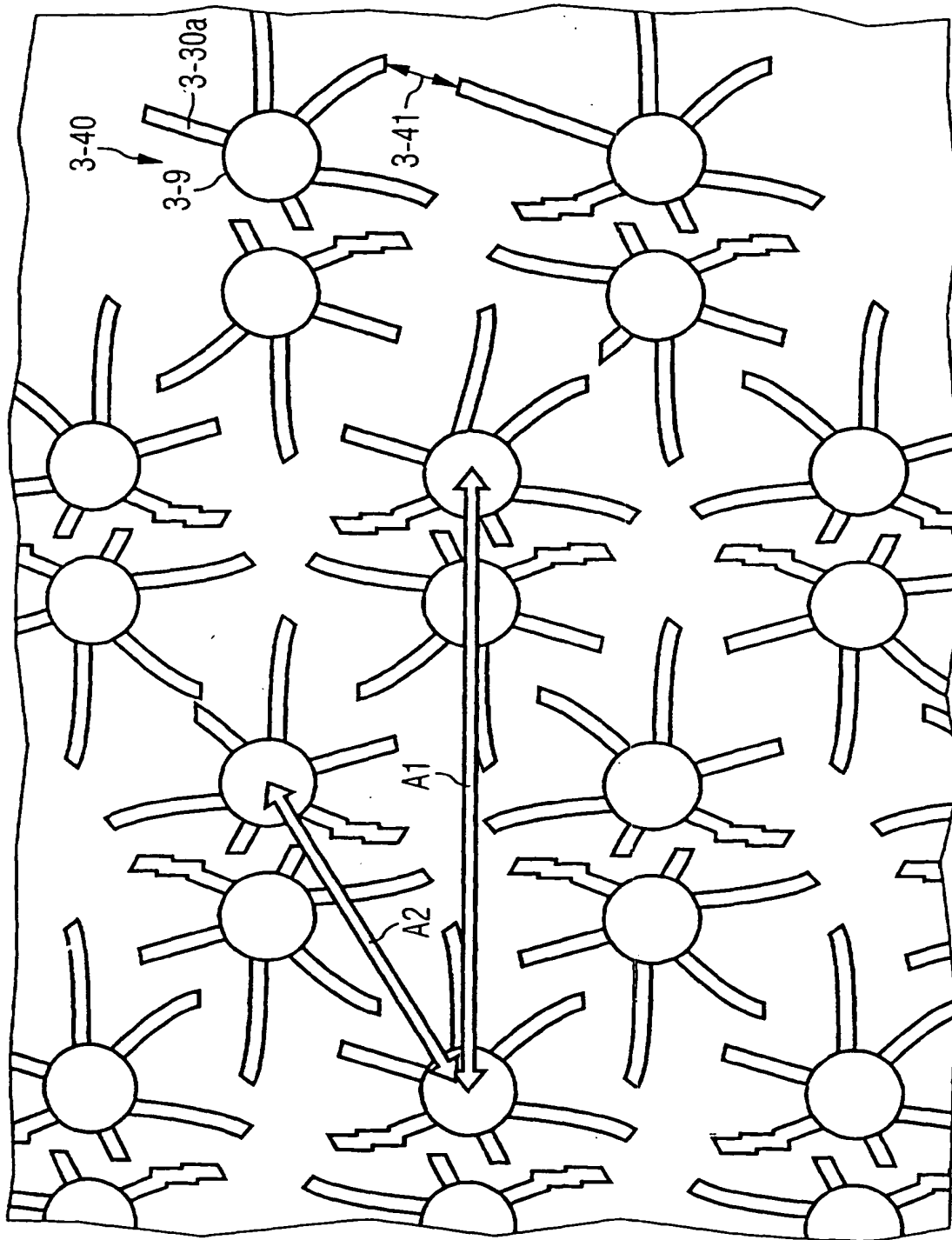


FIG 5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.